

# UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

Departamento de Ingeniería Electrónica

## **Identificación de Patrones Biométricos del Iris**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero  
Electrónico en Control y Telecomunicaciones

Ibrahim Rabie

Andrea Morales

Quito, 17 de abril de 2008

## Derechos Reservados

Ibrahim Rabie

Andrea Morales

# Resumen

Este documento trata de la identificación de personas por medio de las características biométricas del iris del ojo. Describe todas las etapas y los algoritmos matemáticos necesarios para la elaboración de un prototipo que permite implementar un sistema de control de acceso. El sistema está basado en fotografías comunes obtenidas con una cámara digital de alta resolución y un lente macro. Se desea obtener una probabilidad de falso rechazo y falsa aceptación menor al 5%.

# Abstract

This document describes people identification using the iris biometric characteristics. Describes all the stages and mathematical algorithms to implement an access control prototype. The system is based in pictures taken by a normal high resolution digital camera and a macro lens. It is desired to obtain a false acceptance and false rejection probability of less than 5%.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	10
1.2. Justificación . . . . .	11
1.3. Objetivo Final . . . . .	12
1.4. Objetivos Específicos . . . . .	12
1.5. Metas . . . . .	12
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>14</b>
2.1. Introducción a la Biometría . . . . .	14
2.1.1. Breve Historia de la Biometría . . . . .	14
2.1.2. La Biometría . . . . .	16
2.2. Descripción de la Biometría del Iris Ocular . . . . .	18
2.2.1. Breve Historia . . . . .	18
2.2.2. Anatomía del Ojo . . . . .	19
2.2.3. Biometría del Iris Ocular . . . . .	21
2.2.4. Ventajas del Iris como Patrón Biométrico . . . . .	24
<b>3. Metodología para la Obtención de Imágenes</b>	<b>27</b>
3.1. Parámetros a Considerar . . . . .	27
3.2. En la Implementación . . . . .	29

<b>4. Descripción del Sistema</b>	<b>30</b>
4.1. Descripción General . . . . .	30
4.1.1. Introducción a la Localización del Iris . . . . .	32
4.2. Detección de Bordos en la Imagen . . . . .	33
4.2.1. Pre-procesamiento para la Detección de Bordos . . . . .	33
4.2.2. El Filtro Gaussiano . . . . .	34
4.2.3. Máscara de Gauss . . . . .	38
4.2.4. Gradiente en la Imagen . . . . .	41
4.2.5. Histéresis y Umbral . . . . .	44
4.3. Localización del Iris en la Imagen . . . . .	46
4.3.1. Preprocesamiento para la Localización . . . . .	46
4.3.2. Operaciones Morfológicas . . . . .	47
4.3.3. Detección de Curvas Paramétricas . . . . .	50
4.4. Normalización del Iris . . . . .	53
4.4.1. Preprocesamiento para la Normalización . . . . .	53
4.4.2. Normalización . . . . .	54
4.5. Codificación . . . . .	55
4.5.1. Filtros de Gabor . . . . .	56
4.5.2. Demodulación de Fase . . . . .	59
4.6. Cotejamiento de Códigos de Iris . . . . .	60
<b>5. Implementación del Sistema</b>	<b>62</b>
5.1. Adquisición de las imágenes . . . . .	62
5.2. Segmentación del Iris . . . . .	64
5.2.1. Detección de Bordos . . . . .	65
5.2.2. Detección del Círculo de Hough . . . . .	66

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VI
5.2.3. Generación de la Plantilla del Iris . . . . .	67
5.2.4. Detección de Textura en la Plantilla del Iris y Codificación	69
5.2.5. Cotejamiento, Identificación y Autenticación . . . . .	70
<b>6. Dificultades y Resultados Obtenidos.</b>	<b>72</b>
6.1. Dificultades en la Implementación . . . . .	72
6.2. Resultados Obtenidos en la Comparación de Códigos. . . . .	74
<b>7. Conclusiones</b>	<b>76</b>

# Índice de figuras

2.1. Imagen macro del iris sin reflejos. . . . .	19
3.1. Reflejo NO deseado en la imagen. . . . .	28
4.1. a) imagen no estadística original b) Bordes de la imagen a . . . .	33
4.2. Ruido en la imagen. Se señala en un círculo rojo la sección donde se observa el ruido. . . . .	34
4.3. Gráfica de Distribución gaussiana de media 0 y varianza 1,4 . . .	35
4.4. Ejemplo de cálculo de la convolución en dos dimensiones . . . . .	38
4.5. a) imagen no estadística original b) Imagen suavizada libre de ruido	40
4.6. a)Gaussiana con planos de corte en $x$ b) Corte de la gaussiana en eje $x$ . . . . .	42
4.7. Cuatro posibles valores de ángulo del gradiente para una imagen dada. . . . .	43
4.8. Función seno con histéresis entre 0,2 y $-0,2$ . . . . .	45
4.9. Erosión del rectángulo pequeño en el rectángulo grande . . . . .	48
4.10. Erosión de (a) en (b) repetidas veces; el resultado es (c) . . . . .	49
4.11. (a) Elementos $a_1$ y $a_2$ (b) Elementos perpendiculares $q_1$ y $q_2$ . . .	50
4.12. Acumulador de Hough para dos círculos distintos . . . . .	52
4.13. Curvas paramétricas del Iris y Pupila detectados . . . . .	52

4.14. Muestreo para la Normalización . . . . .	55
4.15. Plantilla del Iris . . . . .	55
4.16. “Normalización (a) Imagen segmentada (b) Iris Normalizado (c) Plantilla de Ruido” . . . . .	56
4.17. Filtro de Gabor 1D con $\sigma_x = 10$ y $U_x = 0,04$ . . . . .	57
4.18. Filtro de Gabor 1D con $\sigma_x = 10$ , $U_x = 0,04$ , $\sigma_y = 0,01$ y $U_y = 0,4$ . . . . .	57
4.19. (a) Parte Imaginaria de la plantilla filtrada (b) Parte real de la plantilla filtrada	58
4.20. (a) Parte Imaginaria de la plantilla filtrada (b) Parte real de la plantilla filtrada	58
4.21. Demodulación de Fase en Cuadratura . . . . .	60
5.1. Diagrama general del prototipo . . . . .	63
5.2. Ventanas de las Zonas de interés . . . . .	65
5.3. Diagrama de actividad para la detección de bordes. . . . .	66
5.4. Diagrama de actividad para la detección de curvas perimétricas . . . . .	68
5.5. Diagrama de actividad para la normalización del iris . . . . .	69
5.6. Diagrama de actividad para la detección de textura . . . . .	70
6.1. (a) Iris con pequeño reflejo en el iris (b) Plantilla libre del reflejo . . . . .	73

# Índice de cuadros

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes

Las medidas de seguridad en transacciones ya sean bancarias o simplemente en cuestiones de identificación de individuos se han vuelto de vital importancia. Con los avances tecnológicos de la era, la falsificación de documentos e identidad son cada vez más frecuentes por lo cual es necesario desarrollar sistemas más seguros y más difíciles de violar.

El problema a resolver es diseñar un método de identificación mediante una característica biométrica única en cada individuo. Para el desarrollo de este proyecto se ha elegido la identificación por medio del iris del ojo, puesto que es una de las tecnologías más modernas en la actualidad y menos usadas debido a su complejidad. Sin embargo los capítulos siguientes se limitarán a explicar y demostrar el funcionamiento de este método.

El desarrollo de un sistema de seguridad como el descrito podría ser de gran beneficio en instituciones donde la autenticidad de las personas sea de vital importancia, como por ejemplo en bancos, empresas, laboratorios, etc.

Con el fin de alcanzar la meta se ha investigado sobre los métodos ya conocidos y usados para la implementación de dicho sistema; uno de los investigados permite realizar el proceso con el uso de una cámara digital de alta resolución obteniendo una imagen a una distancia de 10cm; el algoritmo de John Francis Canny para detección de bordes, descrito en su tesis, es el que se piensa utilizar para procesar la imagen y posteriormente realizar el análisis de textura de la imagen obtenida para identificarla después en una base de datos que será generada previamente.

## 1.2. Justificación

Desde hace ya algún tiempo se ha empezado a implementar identificación de patrones mediante características biométricas únicas en cada individuo con el fin de comprobar la identidad de las personas, como por ejemplo las huellas digitales, sin embargo, existen otras características similares que permiten una identificación mas certera, una probabilidad de error más pequeña, y una baja probabilidad de falso rechazo. Características como estas son las que ofrece el método de análisis de texturas y reconocimiento de patrones en el iris de ojo.

Con los avances en la tecnología es importante desarrollar métodos más seguros y eficaces para este fin, para garantizar confianza en distintas actividades como transacciones monetarias, registros civiles, incluso en un futuro podría ser implementado en el comercio electrónico, con el fin de comprobar una tarjeta de crédito.

### 1.3. Objetivo Final

- Desarrollar un sistema que permita reconocer los patrones biométricos del iris ocular en una base de datos dada.

### 1.4. Objetivos Específicos

- Desarrollar un método eficaz para la adquisición de imágenes del iris ocular.
- Generar una base de datos de plantillas de identificación.
- Estudiar, describir e implementar el algoritmo de Canny para la detección de Bordes de una imagen.
- Estudiar, describir e implementar el algoritmo de Hough para la detección de curvas paramétricas en imágenes.
- Estudiar, describir e implementar el algoritmo de Daugman para la normalización de imágenes y generación de códigos biométricos.
- Estudiar, describir e implementar el algoritmo de Gabor para la detección de texturas en imágenes.
- Desarrollar una aplicación capaz de reconocer individuos registrados en la base de datos antes generada.

### 1.5. Metas

- El sistema deberá funcionar para cualquier individuo cuya información este registrada en la base de datos.

- Obtener una probabilidad de falsa aceptación de máximo 5 %.
- Obtener una probabilidad de falso rechazo de máximo 5 %.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Introducción a la Biometría

#### 2.1.1. Breve Historia de la Biometría

Desde los principios de la humanidad el identificar a las personas ha sido un tema de interés general. Lo más común era identificar a una persona por su apariencia, características o rasgos que en conjunto ayudaban a diferenciar a las personas unas de otras. Se conoce que desde la época de los faraones en Egipto, se fijaban en características físicas para distinguir a las personas que estaban involucradas en asuntos comerciales o judiciales, por ejemplo en las zonas agrícolas las cosechas eran almacenadas en depósitos comunes que eran resguardados por un individuo, el cual debía identificar a cada uno de los propietarios de dichas cosechas con el fin de entregárselas cuando este las solicite, para este fin los guardianes se fijaban en características físicas de los respectivos propietarios, aplicando así los principios más básicos de lo que hoy en día se conoce como biometría. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup><http://www.homini.com/historia.htm>

Sin embargo, esto provocaba en muchos casos confusiones, puesto que era una tarea muy difícil memorizar la apariencia de cada uno de los agricultores, por lo cual era necesario encontrar un método más sencillo y aplicable. Lamentablemente los conocimientos tecnológicos de la época no permitían un proceso más elaborado para este fin y tampoco existían investigaciones para conseguirlo.

Para los primeros años del siglo XIV en occidente el jefe del departamento fotográfico de la policía de París desarrolló el primer método elaborado de identificación de personas, este primer método surge de una forma muy primitiva en un intento por identificar a criminales y convictos. Se tomaban medidas muy precisas del tamaño de la cabeza y se registraban cicatrices, tatuajes o manchas en el cuerpo. Estos procedimientos son los primeros intentos de encontrar características que permitan autenticar la identidad de los individuos de una forma mucho más precisa e innegable.

Según el escritor Joao Barros en China los comerciantes imprimían las palmas de las manos de los niños en papel para distinguirlos entre ellos, para esto se adjuntaba el nombre junto con la impresión de tinta viva y el momento de identificarlo se volvía a repetir el proceso para compararlo con el antes realizado, un sistema que con ciertos aportes y cambios, algunos siglos después se convertiría en el sistema de identificación más popular de la historia. <sup>2</sup>

En 1686 el médico Italiano Marcelo Malpighi dedicaba sus investigaciones a muchos campos de la medicina, entre ellos el estudio de la piel en ser humanos; dichos estudios lo llevaron a concluir que la piel de los dedos era distinta entre varias muestras, dejando al descubierto la clave de lo que se convertiría en una ciencia del futuro. Un siglo más tarde de su descubrimiento Jan Evangelista Purkine medico checo descubre que la piel de los dedos no solamente eran diferente en

---

<sup>2</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Biometr%C3%ADa#\\_Historia](http://es.wikipedia.org/wiki/Biometr%C3%ADa#_Historia)

un grupo de muestras sino única para cada ser humano. A raíz de este descubrimiento se empezaron a publicar libros como *"life on the Mississippi"* publicado en 1883 por Mark Twain que trata de un crimen donde el criminal es identificado por las huellas táctiles de los dedos. A partir de estos hallazgos pocos años más tarde se empezó a utilizar dicho método oficialmente en asuntos criminales y de investigación por parte de la policía. Sir Edward Henry inspector de la policía fue el primero en establecer el primer archivo de huellas digitales en Londres. Estableciéndose así el primer método biométrico de la historia.[2]

Cabe mencionar que existen diversas proposiciones acerca del origen de la biometría; una de ellas menciona que a principios de los años setenta la compañía NEC junto con el Buró Federal de Investigaciones, por sus siglas en ingles (FBI) comenzaron el estudio de algunos rasgos del ser humano que permitan identificarlos de una forma automatizada, rápida, eficaz y sobre todo que fuese muy difícil de engañar o violar, dando paso al nacimiento de la ya mencionada biometría.[8]

### 2.1.2. La Biometría

La biometría es un término derivado del Griego bio que significa vida y metron que significa medida; de esta forma podemos entender primitivamente por biometría como la medida de vida <sup>3</sup>. Sin embargo la biometría no es precisamente una medida de vida como tal sino más bien es una ciencia de seguridad que estudia las técnicas para diferenciar rasgos o comportamientos intrínsecos e involuntarios en los vivos para poder identificarlos.

Esta ciencia está basada en la existencia de ciertas características en los seres vivos que permiten identificarlos, como las huellas digitales ya antes mencionadas, dichas características son intransferibles y además difíciles de perder u olvidar sin

---

<sup>3</sup>[http://www.homini.com/new\\_page\\_1.htm](http://www.homini.com/new_page_1.htm)

mencionar la complejidad que puede llegar a representar la clonación de uno de estos rasgos o características. Estos se encuentran divididos en dos grupos; los fisiológicos o morfológicos y los conductuales.<sup>4</sup>

Los fisiológicos o morfológicos son aquellos rasgos físicos inalterables y presentes en la mayoría de los seres humanos; son algunos los que se han descubierto hasta el momento. Los conductuales se refieren a modos o formas de comportarse ante una situación determinada; método muy utilizado en el mundo de la informática y también conocido como biometría informática. Así también en el mundo animal existen características biométricas en las diferentes especies: por ejemplo para determinar o identificar los tipos de fauna que habitaron una determinada área, así también la biometría puede ayudar a determinar el tipo de árbol al que perteneció cierto pedazo de corteza. Sin embargo, la biometría informática, la animal y la vegetal son temas que conciernen a otro campo de interés, puesto que para el objetivo de esta sección interesa el estudio de la biometría humana.

Dentro de los rasgos fisiológicos existen cuatro pilares que definen la validez de dichos rasgos, los cuales deben cumplirse para que sea considerado como válido. Estos pilares son la universalidad, singularidad, permanencia y la adquisición del mismo.

La universalidad se refiere a que el rasgo debe encontrarse vigente en todos los individuos; pero deberá ser único para cada uno, es decir, deberá tener una singularidad, además es importante la permanencia que indica que tanto perdura este rasgo a lo largo del tiempo sin cambios significativos, es necesario también que este rasgo sea de fácil acceso, es decir, que pueda ser adquirido fácilmente.

La biometría es una tecnología que se la desarrolla ante la necesidad de identificar a las personas y de dificultar la falsificación de identidades, por esta razón

---

<sup>4</sup>[http://www.homini.com/new\\_page\\_1.htm](http://www.homini.com/new_page_1.htm)

es conocida como una tecnología de seguridad que está basada principalmente en el reconocimiento de características fisiológicas de las personas que son intransferibles y cuya clonación es o bien imposible o extremadamente complicada, a dichas características se las conoce como Patrones Biométricos. [2]

Si bien dentro de la especie humana se puede encontrar algunas biometrías interesantes como las huellas digitales, la geometría de la mano y algunas otras más, se tratará la que ha causado un poco de revolución en este campo debido a su precisión y exactitud. El iris ocular presenta una de estos patrones únicos para cada ser humano.

## 2.2. Descripción de la Biometría del Iris Ocular

### 2.2.1. Breve Historia

A raíz de los descubrimientos del patrón biométrico de las huellas digitales los estudios en el campo de la biometría empezaron a tornarse más agresivos. Se encontraron algunos otros rasgos únicos como el de la geometría de la mano; pero no fue sino hasta 1936 que el médico oftalmólogo Frank Burch descubriera un rasgo muy singular en los seres Humanos y propusiera la idea de tomarlo como un patrón de identificación [12]. Sin embargo, su idea parecía muy lejana para la tecnología que se manejaba en ese tiempo. El hecho de identificar a las personas por medio del la parte de color del ojo resultaba una idea cinematográfica.

Según se menciona en un artículo publicado por Raúl Sánchez Reíllo de la Politécnica de Madrid [12], en la década de los 80 precisamente gracias a la ciencia ficción de las películas del momento como "James Bond." "Misión Imposible" la idea de Frank Burch empezó a dejar de parecer tan absurda. Leonard Flom y Aran Safir en 1987 decidieron patentar el concepto propuesto por Frank Burch; los dos

oftalmólogos americanos decidieron contactarse con alguien que fuese capaz de desarrollar los algoritmos matemáticos necesarios para este fin.

A mediados de la década de los noventa, John Daugman profesor en la universidad de Harvard patentó los algoritmos necesarios para el reconocimiento de patrones biométricos del iris solicitados por Leonard Flom y Aran Safir.[12]

### 2.2.2. Anatomía del Ojo

Para comprender el singular rasgo que presenta el iris ocular y las ventajas de este patrón frente a otros tantos posibles, es preciso conocer de una manera rápida lo que la anatomía del ojo encierra. El ojo está compuesto de tres capas las cuales las podemos distinguir con claridad en la figura 2.1.

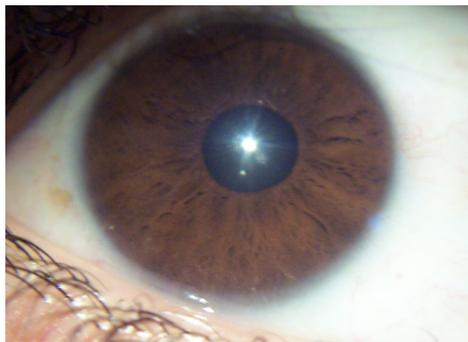


Figura 2.1: Imagen macro del iris sin reflejos.

La capa externa está formada por la llamada esclerótica, que es la parte blanca de los ojos, la cual esta encerrada por la cornea; esta es translúcida con el fin de permitir el paso de la luz hacia las capas internas, además protege a dichas capas de factores externos que puedan dañarlo. La capa siguiente se encuentra formada por el cuerpo ciliar y el iris, este último consta de una apertura hacia la capa más interna del ojo y se la conoce como pupila. Por último en la capa final se encuentra un lente llamado cristalino el cual recepta la luz entregada por la

pupila. [14]

Si bien la anatomía del ojo es mucho más compleja de lo descrito anteriormente, el objetivo que se plantea demanda solamente el estudio de algunos de los componentes mencionados, de una manera mas precisa, para el fin que se busca solamente se estudiará un poco más las características del iris y la pupila.

El iris es la parte de color de los ojos, este color se produce gracias a un estroma de células pigmentadas, a mas pigmentación se presente, más oscuro será el color de los ojos, esta diferencia de pigmentación provoca que en los colores menos pigmentados como el celeste se vea un mal funcionamiento del iris, pues no es capricho de la naturaleza que los nórdicos donde existe poca luz tengan ojos claros mientras que en las zonas ecuatoriales donde la luz es intensa la pigmentación dominante sea la obscura, sin embargo, como sin duda se conoce, la cantidad de pigmento de nuestros ojos es netamente hereditaria.[12]

El iris además esta formado por un epitelio, que además de también poseer células pigmentadas y contribuir en la coloración del iris posee unas fibras musculares. Dichas fibras se agrupan formando dos músculos: el esfínter del iris que va a producir miosis y el dilatador de la pupila que producirá por el contrario midriasis; de esta forma se puede decir que el iris es un diafragma que se encarga de regular el paso de la cantidad de luz indicada para poder enfocar bien lo que se está mirando.

Como ya se lo había mencionó, el iris presenta una apertura en su parte central a la cual se la denomina pupila, de una forma mas precisa se encuentra ubicada entre la cornea y el cristalino, es decir, en la capa media del globo ocular. La pupila tiene la capacidad de aumentar o disminuir de tamaño para regular la cantidad de luz que entra al cristalino, esto es posible gracias a la ayuda del ya mencionado músculo de iris que permite la midriasis.[14]

Por último en la última capa se encuentra el cristalino y la retina, esta última es la conexión del receptor y el interprete, es decir, la retina es la encargada de transformar la luz recibida por la pupila en un impulso nervioso que es transmitido al cerebro para ser analizado.

Ahora que se conoce a manera general las partes básicas del ojo podemos adentrarnos a comprender el parámetro que le hizo pensar a Frank Burch que el iris del ojo podía ser utilizado como patrón biométrico.

### 2.2.3. Biometría del Iris Ocular

Ahora que se comprende de una mejor manera lo que la anatomía del ojo encierra, es posible adentrarse en el estudio de la parte que tiene más relevancia a este tema.

El ojo no solamente presenta las características antes mencionadas como las células pigmentadas del iris, la capa translúcida llamada cornea o los músculos de dilatación. La verdad es que el ojo alberga una cantidad de información de su propietario que en muchos casos resultaría alarmante.

Dentro del ojo humano encontramos dos patrones sumamente eficientes para la identificación no solo de las personas sino también de muchos otros factores como la salud, personalidad e identidad.

La identificación de patrones por medio de la retina es un método que se dice a resultado ser polémico en el mundo de la biometría. El análisis de retina se basa en los patrones vasculares [9], es decir, la forma de los vasos sanguíneos de la retina que es una característica propia de cada individuo, en pocas palabras en ningún ser humano son iguales, la eficiencia de reconocimiento está entre las más altas de los descubiertos hasta el momento, sin embargo, su utilización no ha sido difundida para el campo de la seguridad sino más bien se la utiliza mucho más en

la medicina. ¿Pero Por qué no utilizar este patrón de identificación tan eficiente en el mundo de la seguridad? El análisis de los vasos sanguíneos de la retina lleva una cantidad de información que podrían causar molestias en la mayoría de los usuarios al revelar información confidencial, violando la privacidad de los individuos y revelando información que estos preferirían mantener en secreto como el uso de drogas, consumo de alcohol e incluso en algunas fuentes se asegura que se puede detectar enfermedades veneráis como el sida (*“Retinal scanning also has medical applications. Communicable illnesses such as AIDS....”*)<sup>5</sup>. Por otro lado la obtención de la muestra necesaria para la identificación es compleja, costosa y puede resultar molesta para el usuario.

Si bien la retina presenta algunas desventajas para su implementación; como ya se había mencionado anteriormente la biometría ocular presenta otro patrón único en cada individuo.

El iris del ojo, no solamente presenta células pigmentadas que rodean el contorno de la pupila. A raíz del descubrimiento de Frank Burch los estudios de la estructura del iris ocular se tornaron intensos. En la actualidad se conoce que el iris del ojo es la estructura matemáticamente más distintiva que poseemos, este presenta más de cuatrocientas características distintivas con las cuales se puede identificar a su propietario, toda esta información se encuentra comprimida en la circunferencia del iris del ojo.

Si observamos el iris ocular de una forma detenida y en una macro imagen es posible notar que este presenta una serie de criptas, surcos, anillos, pecas, coronas y muchos otros rasgos que hacen que este alcance a obtener hasta seis veces más puntos distintivos que en un patrón de huellas digitales lo cual lo hace totalmente singular en cada persona.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Retinal\\_scan](http://en.wikipedia.org/wiki/Retinal_scan)

<sup>6</sup><http://www.tecnociencia.es/monograficos/biometria/biometria3.html>

La iridología es una ciencia que surge al encontrar este sin número de rasgos tan singulares en cada ser humano y busca estudiar al hombre a través de la parte pigmentada del globo ocular. Aunque existen discusiones acerca del tema, la iridología asegura que nada en el iris del ojo se encuentra de una forma aleatoria, por el contrario, esta ciencia asegura que a través del iris se puede estudiar el comportamiento de las personas, su relación con el mundo exterior e incluso su personalidad; sin embargo lo que interesa analizar no es la personalidad de los individuos sino su identidad.

Con tantos rasgos distintivos en el iris, lo primero con lo que se puede relacionar es con la corteza de un árbol, pues ésta presenta de igual forma anillos, criptas, pecas, etc... Que si bien son totalmente distintas a las observadas en iris, ayudan a comprender donde se encuentra la singularidad del mismo para ser utilizado como patrón biométrico en la identificación de individuos. Esta claro que la corteza de los árboles presenta una imagen que probablemente sea imposible de encontrar dos exactamente iguales en detalle sin necesidad de utilizar un procedimiento matemático complejo, sino, tan solo a simple vista podemos diferenciar una de otra. Pero, ¿Cómo es que se puede diferenciar entre dos? La respuesta es simple, lo que el cerebro recibe es una imagen de los dos pedazos de corteza y las diferencia por la textura que estos pedazos presentan. Las criptas, surcos, anillos, pecas, coronas y todas las características que el iris presenta hacen que éste presente una textura singular en cada individuo, sin embargo debido al pequeño tamaño que éste presenta y la complejidad de esta textura es necesario la ayuda de un análisis matemático que defina un patrón por medio del cual el individuo puede ser identificado.

#### 2.2.4. Ventajas del Iris como Patrón Biométrico

Debido a la alta complejidad que el iris del ojo presenta en su textura, el sistema de reconocimiento del iris incluye muchas ventajas frente a los diferentes tipos de identificación biométrica; principalmente debido a su gran facilidad de acceso pues como ya se había mencionado en secciones anteriores la transparencia de la cornea permite observar claramente el iris sin necesidad de un proceso complicado o de equipos sofisticados como es el caso de los vasos sanguíneos de la retina, lo cual además presenta otra ventaja, pues se puede obtener las muestras necesarias sin invasión, es decir, sin invadir la comodidad del usuario con ases de luz infrarroja en los ojos, y hasta podríamos decir que la muestra puede ser obtenida de una forma discreta, lo cual favorece a la seguridad pues la principal falencia de un sistema de seguridad es el conocimiento de su existencia, esto es gracias a que la textura del iris podemos obtenerla por medio de una simple imagen digital del iris ocular.

La cornea además de permitir la extracción de una imagen del iris, brinda una gran estabilidad frente a cambios o lesiones originados por accidentes; otra gran ventaja de la identificación, usando el patrón biométrico del iris es que este no se degenera a lo largo de la vida del individuo, cumpliendo así con uno de los pilares más importantes de los rasgos fisiológicos que se había mencionado en secciones anteriores, la permanencia de patrón a lo largo del tiempo.[12]

Respecto a la velocidad de su aplicación existe una discrepancia se asegura que es un sistema aplicable en poblaciones pequeñas puesto que podría tomar un tiempo significativo el identificar a una persona volviéndose así un sistema ineficiente en poblaciones grandes, es por esto que solamente es utilizado en accesos restringidos de bases militares o laboratorios muy sofisticados, sin embargo, en [3] también se asegura que el reconocimiento del iris es el altamente eficiente. Lo

cierto es que no se puede decidir cual de estas teorías es la correcta por lo que se la someter a prueba a lo largo de los capítulos siguientes en el desarrollo de un prototipo.

Sea o no cierto cualquiera de las teorías antes mencionadas de lo que si existe una concordancia, es que el patrón del iris arroja una probabilidad de falso rechazo casi nula y una probabilidad de falsa aceptación inferior a cualquier otro sistema utilizado en la actualidad, incluso inferior al de las huellas táctiles que es el sistema más utilizado en el mundo.[3],[4] y [5]

Otro factor a favor de la identificación de este singular patrón, es la diferencia existente entre ambos ojos, es decir, en los dos ojos izquierdo y derecho de una misma persona el patrón biométrico del iris es distinto, esto es considerado una ventaja ya que podría mantenerse una cierta incertidumbre de sobre cual de los dos ojos se obtuvo la primera imagen con la que el usuario se registro ante un determinado sistema. Incluso se conoce que en los gemelos idénticos los patrones de los ojos son distintos [4],[12], es decir, de dos hermanos gemelos idénticos podríamos obtener cuatro patrones distintos, cumpliendo así otro de los pilares de los rasgos fisiológicos.

Si bien se ha introducido el mito de la vulnerabilidad o fácil violación de este tipo de seguridad por medio de lentes de contacto, ojos de vidrio o la extracción del órgano con el fin de realizar una falsa autenticación, cabe destacar que estos sistemas son altamente inmunes a este tipo de ataques, pues el iris del ojo sufre una degeneración casi instantánea al ser extraído de su propietario, además el sistema de identificación del iris es capaz de distinguir entre un vivo y un muerto esto es fácilmente comprobable; los médicos pueden determinar sin una persona esta viva o muerta con tan solo iluminar los ojos y observar la respuesta de las pupilas ante la luz, de la misma forma el sistema de identificación podría identifi-

car un órgano muerto o un ojo de vidrio tomando dos muestras con intensidades de luz diferentes y observar la reacción de la pupila ante la luz y comparar las deformaciones elásticas de la misma y además el movimiento pupilar. Sin mencionar que la clonación de iris del ojo en un vivo es altamente riesgosa y es algo que la medicina no lo practica debido a su extremada complejidad [12]. Y por último la fabricación de un lente de contacto que tenga la textura de un iris ajeno es extremadamente complicada, pues primeramente el falsificador debería obtener una imagen detallada de alta resolución del iris a clonar e imprimirla en un lente, lo cual ya resulta muy complicado de realizar y segundo suponiendo que lo mencionado anteriormente se cumple de forma satisfactoria, si el lente fabricado es translúcido el iris real del falsificador modificaría la textura del lente resultando en un rechazo del sistema y de no ser translúcido, a más de cegar al falsificador, de igual forma no existiría una dilatación pupilar resultando de igual forma rechazado por el sistema.

# Capítulo 3

## Metodología para la Obtención de Imágenes

### 3.1. Parámetros a Considerar

A la hora de obtener una imagen de cualquier tipo se debe considerar ciertos factores que nos determinarán la calidad de la imagen. Principalmente uno de estos factores es la intensidad de la luz que el lente de la cámara captura puesto que puede introducir ruido o reflejos en la imagen; este último se vuelve mucho más importante cuando el objetivo de la cámara es un espejo o algo similar.

El ojo humano es como un espejo en un plano de  $360^\circ$ , es decir, reflejará cualquier destello de luz que exista en un plano de dicha dimensión; este fenómeno es totalmente prohibido a la hora de realizar una identificación del iris, puesto que cualquier reflejo en el iris del ojo significaría una pérdida de información valiosa, por lo tanto la imagen que se busca obtener debe ser libre de reflejos por lo menos en el área de donde se extraerá la información biométrica, es decir, el iris.

En la figura 3.1 se puede notar claramente el fenómeno de reflexión en el iris

### CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE IMÁGENES<sup>28</sup>

ocular, lo cual debe ser evitado en su totalidad, Sin embargo un buen ejemplo de una imagen valida es la que se observó en la figura 2.1 en la sección 2.2.2, si bien existe un reflejo de luz en esta imagen, este se encuentra en la pupila más no en el iris.

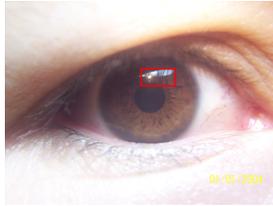


Figura 3.1: Reflejo NO deseado en la imagen.

Otro factor importante para poder implementar este sistema es la definición y claridad de la imagen. Se debe tener en cuenta que lo particular en el iris ocular es la textura que este presenta, es por esto que la imagen debe gozar de una resolución adecuada para capturar la mayor cantidad de detalles del iris, además para alcanzar dicho nivel de detalle es necesario utilizar un lente macro el cual hará las veces de una lupa, permitiendo a la cámara capturar detalles que a simple vista o con una lente común son difíciles de apreciar.

Por último no hay que olvidar que el iris esta compuesto por dos músculos que hacen posible la dilatación y contracción de la pupila, por lo tanto la intensidad de la luz no debe ser muy fuerte, pues esto a más de molestar al usuario provocaría una dilatación de la pupila exagerada y disminuiría el área de interés, además este fenómeno deberá ser estandarizado para que los diferentes tamaños de la pupila por diferentes condiciones de iluminación en las imágenes no afecten en la identificación. Este proceso es la segunda etapa del sistema y es conocido como Normalización el mismo que se explicara en la sección 4.4.2

## 3.2. En la Implementación

A la hora de implementar el sistema de identificación que se describirá en el capítulo 5 además de considerar los factores mencionados en la sección anterior es preciso establecer una serie de características aproximadamente comunes en las imágenes a analizar. La principal de estas características consiste en centrar la pupila del ojo aproximadamente en el centro de la imagen, no es necesario que se encuentre en el centro exacto de la misma, pero sí que se encuentre aproximadamente en una ventana de  $100 \times 100$  píxeles alrededor del centro de la imagen. Esto es necesario realizarlo ya que de no hacerlo el proceso de detección de curvas perimétricas descrito en la sección 4.3.3 podría tomar un tiempo considerable e inaceptable.

Alcanzar este objetivo es relativamente simple puesto que todas o casi todas las cámaras digitales del mundo de hoy constan de un indicador del centro de la imagen en el objetivo, lo cual facilita enormemente alcanzar este requisito, ya que si se consigue colocar la pupila del ojo dentro de este indicador el objetivo estará cumplido.

Por otro lado la imagen debe ser bastante clara, es decir, debe gozar de una buena iluminación donde se puedan distinguir los rasgos del iris sin provocar reflejos no deseados como se ilustra en la figura 3.1.

# Capítulo 4

## Descripción del Sistema

### 4.1. Descripción General

Si bien hace algunos años el sistema de identificación de personas por medio del patrón del iris ocular resultaba ser una idea muy lejana de la implementación en la vida cotidiana, hoy en día la tecnología en el mundo de la fotografía y la computación han facilitado esta fantasía; pues su implementación puede resultar más sencilla de lo que realmente aparenta ser.

En la actualidad ya existen equipos que permiten realizar esta tarea sin mayores problemas, sin embargo su costo todavía es algo elevado, pero ha disminuido significativamente en el transcurso de los últimos años. Panasonic ofrece algunos de estos sistemas de identificación <sup>1</sup> por un costo que para una empresa podría resultar accesible y una inversión pero para un usuario común esto sería un costoso lujo. Sin embargo el objetivo que se desea alcanzar es construir un prototipo que permita mostrar que este método no está tan lejano de lo que el común denominador de los usuarios realmente piensa.

---

<sup>1</sup><http://www.panasonic.com>

El principal problema que este método presenta es como obtener una imagen del iris que permita distinguir los rasgos que lo hacen singular. Se había mencionado que lo que realmente caracteriza el patrón del iris es precisamente la textura que este presenta, es por esto que lo primero que se debe tomar en cuenta para realizar un reconocimiento de iris es el como obtener dicha imagen. Las cámaras que se ofrecen en el mercado para este fin funcionan de distintas formas, en muchas de ellas solamente es necesario mirar a la cámara desde una distancia prudente y esta se encarga de detectar los ojos en el rostro y obtener la imagen necesaria para el análisis, sin embargo, gracias a las cámaras digitales de alta resolución con las que se cuenta en la actualidad e iluminación adecuada es posible obtener la imagen del iris de una forma manual, que para el objetivo planteado de construir el prototipo y estudiar el funcionamiento del método sería una salida de bajo costo.

Los pasos siguientes se reducen a algoritmos matemáticos dentro del campo del procesamiento digital de imágenes. El primero de estos es detectar los bordes de la imagen con el fin de localizar el iris, la pupila y los párpados del ojo, creando una nueva imagen de tamaño normalizado, a continuación se generan una serie de plantillas que permitirán avanzar al paso siguiente, el cual consiste en crear un código único asociado por medio del cual el individuo podrá ser identificado.

Los algoritmos necesarios para cumplir con los pasos mencionados son algoritmos muy conocidos en el procesamiento digital de imágenes, como por ejemplo, el operador de Canny, los filtros de Gabor y algunos otros más que se los describirá detalladamente en las secciones siguientes.

#### 4.1.1. Introducción a la Localización del Iris

Como se puede notar en las imágenes que se obtuvieron en la sección anterior la imagen no solo consta del iris, sino también de los alrededores del mismo esto es importante puesto que el sistema podría ser muy molesto si la persona tuviese que abrir el ojo de tal forma que los párpados no obstruyan al iris, ya que estos, los párpados, siempre están obstruyendo la parte superior e inferior de iris, además es imposible mantener una iluminación tan perfecta de tal forma que el tamaño del iris sea siempre el mismo. Es por esto que previamente a entrar en la etapa de extracción del patrón biométrico del iris ocular es necesario realizar una serie de procedimientos los cuales garantizarán obtener una imagen donde la obstrucción de los párpados y el tamaño de la pupila son independientes al resto del proceso.

Los pasos precisos que se necesitan para obtener una imagen donde el tamaño de la pupila sea independiente pueden ser divididos en dos etapas las cuales se las conoce como segmentación y normalización. [13]

La etapa de segmentación es crucial en el procedimiento de identificación del iris, pues básicamente el objetivo de esta etapa esta en localizar el iris en la imagen, pues de ser localizado incorrectamente las etapas siguientes podría utilizar datos errados y concluir la identificación en un falso rechazo o falsa aceptación.

Como ya se había observado en el capítulo anterior el iris es la región comprendida entre la esclerótica y la pupila, se podría decir que la región de iris puede ser vista como dos círculos concéntricos donde el borde exterior es la línea que separa la esclerótica y el iris y el borde interior es la línea que separa el iris y la pupila, estas líneas son las que nos permitirán localizar el iris en la imagen, sin embargo, los párpados generalmente o casi siempre se encuentran obstruyendo el iris en las partes inferiores y superiores del mismo, las líneas generadas por los párpados pueden ser aproximadas a curvas segmentadas lineales.

Lo que se plantea realizar para localizar los bordes del iris evitando la obstrucción de los párpados es utilizar el algoritmo de J.F.Canny para detectar bordes y la transformada de Hough para identificar curvas paramétricas.

Lo primero a realizar será detectar los bordes existentes en la imagen de tal forma que mas adelante se pueda determinar las curvas que describen los párpados, el iris y la pupila, y así poder definir el área de donde se va a extraer la información biométrica que se necesita para la identificación.

## 4.2. Detección de Bordes en la Imagen

### 4.2.1. Pre-procesamiento para la Detección de Bordes

En una imagen cualquiera siempre es posible detectar líneas que definen la figura que dicha imagen trata de describir, pero ¿cómo se puede notar dichas líneas? Las líneas en una imagen están definidas por las tonalidades que esta presenta, es decir, se puede diferenciar cambios de intensidad notables en la imagen y así concluir donde se encuentra un borde. Considere la figura 4.1.a. Los bordes

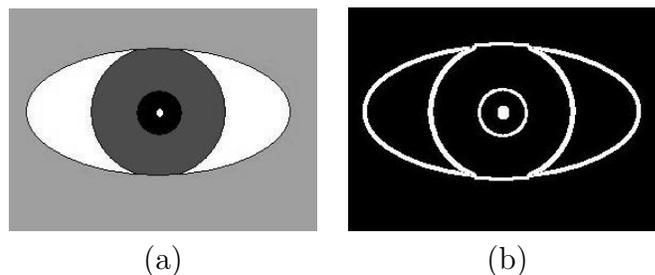


Figura 4.1: a) imagen no estadística original b) Bordes de la imagen a

que se pueden distinguir están definidos por los cambios bruscos de intensidad que esta presenta. El algoritmo de John F Canny consiste en definir donde se encuentran estos bordes y obtener un resultado como el que se observa en la figura

## 4.1.b.

Para alcanzar este objetivo hay que tener en cuenta que la imagen presentada anteriormente es una imagen no estadística, es decir, los tonos están bien definidos y los cambios de intensidad son abruptos en todos los casos, sin embargo las imágenes que se utilizarán en el proceso de detección presentan una cantidad de características que podrían complicar enormemente el proceso, es por esto que lo primero que se debe hacer es eliminar el ruido de la imagen. El concepto de ruido puede ser mejor definido con ayuda de la figura 4.2. Como se puede



Figura 4.2: Ruido en la imagen. Se señala en un círculo rojo la sección donde se observa el ruido.

observar el borde de esta imagen no está claramente definido, existe una gama de tonalidades que podrían provocar una detección de bordes incorrecta por lo tanto vamos a considerar la aplicación de un filtro que ayude a eliminar en lo posible estas anomalías.

### 4.2.2. El Filtro Gaussiano

Para introducir el concepto de un filtro gaussiano es necesario definir previamente ciertos conceptos, principalmente el de ruido blanco y la convolución en dos dimensiones; pues se asumirá que el ruido en la imagen es de este tipo y se utilizará la operación llamada convolución para implementar el filtro.

La razón por la cual se asume que el ruido es blanco es por la forma en la que

la imagen es capturada. Considere una pantalla donde se puede ver una cantidad de focos blancos y un solo foco rojo en el centro, los focos blancos distorsionarían la intensidad del foco rojo que se apreciaría de no existir los blancos, es decir, introducirían ruido en la intensidad del foco rojo. De la misma manera la imagen que se obtiene será contaminada por los reflejos de las diferentes tonalidades existentes en los alrededores del objetivo.

En la figura 4.2 podemos notar esto fácilmente como dos intensidades diferentes se contaminan la una a la otra hasta un punto en el cual el ruido introducido es tan bajo que prácticamente se pierde; este fenómeno puede ser aproximado a una distribución gaussiana, la cual está definida por la ecuación 4.1 e ilustrada en la figura 4.3.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4.1)$$

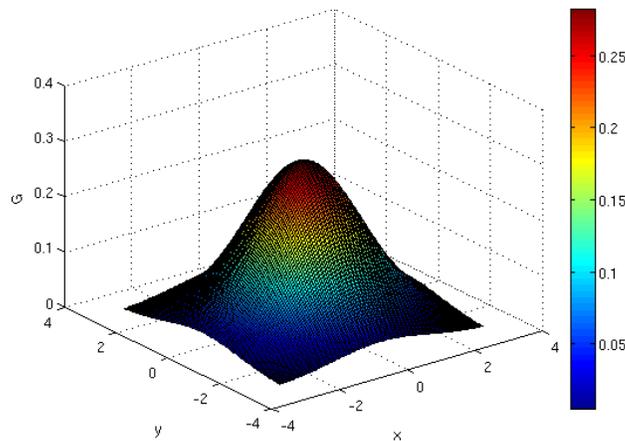


Figura 4.3: Gráfica de Distribución gaussiana de media 0 y varianza 1,4

Debido a esta aproximación es posible asumir que el ruido de la imagen es blanco gaussiano. Con el fin de disminuir dicha anomalía en la mayor cantidad

posible, ya que es imposible eliminarla por completo por ser una aproximación, se aplicará un filtro de Gauss, el cual está descrito según la misma ecuación de distribución gaussiana con media y varianzas adecuadas para poder garantizar una eficiencia óptima del filtro. Lo que el filtro de Gauss realmente hará es aplicar un filtro pasa bajos con el fin de suavizar las transiciones de intensidades alteradas por el ruido de tal manera que éstas no sean significativas a la hora de detectar los bordes.

La convolución es definida de una forma muy general como una media móvil. La función que resulta de la convolución es la suma del producto de dos funciones para todos los casos de superposición posibles.

La convolución Discreta esta definida como la suma de la multiplicación de las dos funciones donde una de ellas está desplazada en las dos dimensiones. La ecuación 4.2 representa la convolución de las funciones  $f$  y  $h$ .

$$(f * h)_{[m,n]} = \sum_i^{M_1+M_2-1} \sum_j^{N_1+N_2-1} f_{[i,j]} h_{[m-i,n-j]} \quad (4.2)$$

Sin embargo en el caso de funciones discretas o de matrices muy grandes es mejor utilizar lo que se conoce como la convolución rápida la cual consiste en obtener la transformada de Fourier de cada una de estas funciones y realizar una multiplicación común y finalmente obtener la transformada inversa de Fourier.

$$(f * h)_{[m,n]} = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ f \} \mathcal{F} \{ h \} \} \quad (4.3)$$

Este operador es muy importante y muy utilizado en la aplicación de varios tipos de filtros a todo tipo de señales, sin embargo cabe destacar que la definición antes

dada es para señales discretas de dos dimensiones. Para comprender mejor este concepto considere las dos matrices  $f$  y  $h$ .

$$f = \begin{bmatrix} 8 & 1 & 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix}, \quad h = \begin{bmatrix} 8 & 3 & 4 \\ 1 & 5 & 9 \\ 6 & 7 & 2 \end{bmatrix}$$

Primeramente se debe obtener el término  $h_{[m-i, n-j]}$  de la ecuación 4.2 para obtener:

$$c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 4 & 3 & 8 \end{bmatrix}$$

El siguiente paso es pasar la matriz  $c$  por la matriz  $f$  e ir obteniendo el resultado de la convolución el cual es:

$$\begin{bmatrix} 64 & 32 & 83 & 22 & 24 \\ 32 & 90 & 166 & 80 & 82 \\ 83 & 166 & 177 & 166 & 83 \\ 22 & 80 & 166 & 150 & 32 \\ 24 & 82 & 83 & 32 & 4 \end{bmatrix}$$

La primera y segunda fila se obtiene como se indica en la figura 4.4.

Ahora que finalmente los conceptos necesarios están definidos se procederá a calcular la máscara del filtro de Gauss para más adelante proceder a la aplicación del filtro mediante el operador de convolución.

$$\begin{array}{ccccc}
 c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 4 & 3 & 8 \end{bmatrix} & c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 4 & 8 & 8 \end{bmatrix} & c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 8 & 3 & 8 \end{bmatrix} & c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 8 & 4 & 8 \end{bmatrix} & c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 8 & 1 & 8 \end{bmatrix} \\
 f = \begin{bmatrix} 1 & 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & f = \begin{bmatrix} 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & f = \begin{bmatrix} 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & f = \begin{bmatrix} 8 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & f = \begin{bmatrix} 8 & 1 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} \\
 8 \times 8 = 64 & 8 \times 1 + 3 \times 8 = 32 & 8 \times 6 + 3 \times 1 + 4 \times 8 = 83 & 3 \times 6 + 4 \times 1 = 22 & 6 \times 4 = 24
 \end{array}$$
  

$$\begin{array}{ccc}
 c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 8 \\ 8 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 8 & 11 \\ 8 & 3 & 8 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & c = \begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 8 & 6 \\ 8 & 3 & 8 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} \\
 f = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & f = \begin{bmatrix} 6 \\ 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} & f = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{bmatrix} \\
 8 \times 3 + 8 \times 1 = 32 & 8 \times 5 + 3 \times 3 + 5 \times 8 + 1 \times 1 = 90 & \text{y así sucesivamente}
 \end{array}$$

Figura 4.4: Ejemplo de cálculo de la convolución en dos dimensiones

### 4.2.3. Máscara de Gauss

Ya que las imágenes digitales son en definitiva una matriz de puntos discretos, es necesario crear una aproximación discreta a la función de distribución de Gauss con el fin de crear una máscara que será la que lleva la información del tipo de suavizado que se desea aplicar a la imagen.

Para poder crear esta máscara es necesario que se defina bien el tamaño del filtro. Generalmente el suavizado gaussiano se implementa en dos dimensiones y los pesos de esta máscara dependerá de la distancia a la que se encuentren del píxel central, siendo la posición (0,0) el centro de la matriz, y el resto de posiciones (x,y) según se indica en la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} (-2, 2) & (-1, 2) & (0, 2) & (1, 2) & (2, 2) \\ (-2, 1) & (-1, 1) & (0, 1) & (1, 1) & (2, 1) \\ (-2, 0) & (-1, 0) & (0, 0) & (1, 0) & (2, 0) \\ (-2, -1) & (-1, -1) & (0, -1) & (1, -1) & (2, -1) \\ (-2, -2) & (-1, -2) & (0, -2) & (1, -2) & (2, -2) \end{bmatrix}$$

Una vez establecido el tamaño del filtro y su respectivas posiciones en base a la distancia central, se procederá a calcular la máscara de Gauss. Se empieza por el siguiente reemplazo en la ecuación 4.1 por facilidad de cálculo.

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{z}{2\sigma^2}} \quad (4.4)$$

donde  $\mu_x = \mu_y = 0$  y por lo tanto  $z = x^T x + y^T y$ , además se considera una varianza  $\sigma = 1,4$ ; hay que recordar que la varianza es el factor que controlará el filtro, una varianza más grande generará una campana más ancha que provocará un suavizado mayor y viceversa. Es por esto que se asigna un valor moderado a la varianza pues de ser muy grande perderíamos mucha información. Si  $x = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$  y  $y = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$  obtenemos:

$$z = \begin{bmatrix} 8 & 5 & 4 & 5 & 8 \\ 5 & 2 & 1 & 2 & 5 \\ 4 & 1 & 0 & 1 & 4 \\ 5 & 2 & 1 & 2 & 5 \\ 8 & 5 & 4 & 5 & 8 \end{bmatrix}$$

Por último simplemente se evalúa este resultado en la ecuación 4.4 y se obtiene el resultado final de lo que será la máscara del filtro a aplicarse la cual se encuentra definida en la ecuación 4.5.

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{184} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Una vez obtenida la máscara de Gauss se procede a aplicar la misma a la imagen deseada utilizando el operador de convolución para asegurar que el cambio de intensidades esté bien definido. Hay que tener en cuenta que si la imagen a ser filtrada no es cuadrada se debe introducir ceros en los alrededores hasta que esta sea cuadrada, a este procedimiento se lo conoce como zero padding. Los resultados de un filtro como el descrito anteriormente se los ilustra en la figura 4.5

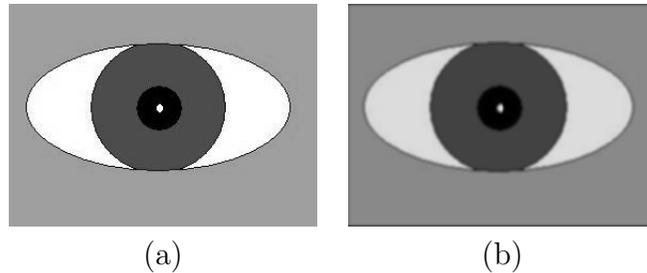


Figura 4.5: a) imagen no estadística original b) Imagen suavizada libre de ruido

Ahora que se tiene una imagen suavizada y liberada de la mayor cantidad de ruido posible se empezará a describir los pasos para detectar los bordes y llegar al resultado de la figura 4.1.b El primer paso para detectar los bordes consiste en obtener el gradiente de la imagen.

#### 4.2.4. Gradiente en la Imagen

Se ha explicado que la base del filtro de detección de bordes está basado en un principio muy simple, el cambio brusco de intensidades en la imagen, sin embargo, lo que no se ha definido hasta esta sección es cuando se considerará brusco el cambio.

El gradiente es un operador que está basado en el concepto de la derivada la cual está definida como un coeficiente de cambio, el cual nos indica que tan rápido cambia una función, por ejemplo la pendiente de una recta, sin embargo el gradiente es un vector por lo cual además de proporcionar esta información es también capaz de identificar la dirección en la que se produce el cambio máximo.

En el caso de una imagen solamente se definen dos ejes normales  $x$ ,  $y$ , para lo cual Canny utiliza los operadores de Sobel que definen los gradientes para cada eje y los define según la ecuación 4.6.<sup>2</sup>

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Para comprender porque los define de esta manera es necesario analizar la distribución de luz en cada píxel de la imagen. Como se explicó anteriormente la distribución de los píxeles se asume es gaussiana.

El gradiente  $G_y$  definido en la ecuación 4.6 es la derivada parcial con respecto a  $y$ , por lo tanto  $x$  es constante. Considere  $x = 0$ , en este caso el punto máximo de la derivada tiene el valor máximo de la gaussiana. Considere ahora  $|x| = 1$ , caso en el cual el valor máximo de la derivada tiene un valor menor que el máximo de la gaussiana. Es por esto que en la ecuación 4.6 los píxeles correspondientes a

<sup>2</sup>[http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can\\_tut.html](http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.html)

$x = 0$  tienen mayor valor, es decir, le da un mayor peso a la información que se encuentra más cerca del centro. La figura 4.6 ilustra este concepto. [1]

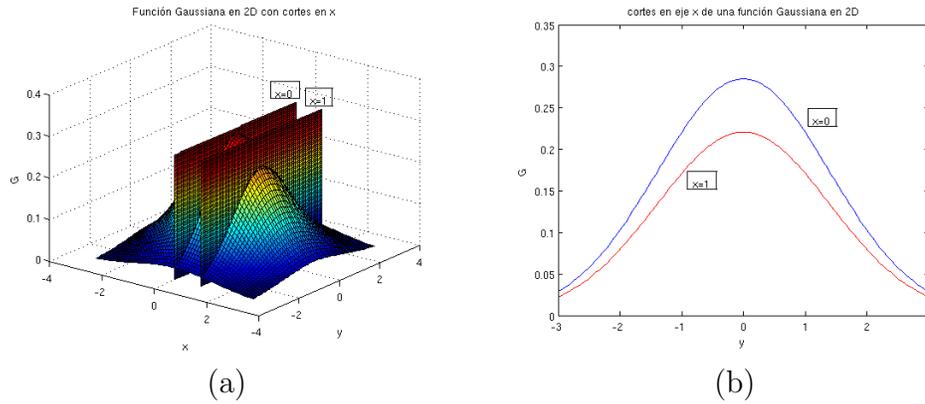


Figura 4.6: a)Gaussiana con planos de corte en  $x$  b) Corte de la gaussiana en eje  $x$

Ahora que ya se han definido las componentes del gradiente que se utilizará, es posible definir de una forma muy simple el módulo del mismo como se indica en la ecuación 4.7.

$$|G| = |G_x| + |G_y| \quad (4.7)$$

Como ya se había mencionado el gradiente es un vector por lo tanto lo único que falta definir es la dirección del borde o el ángulo del gradiente, la cual se define según la ecuación 4.8.

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (4.8)$$

Ahora que el gradiente ha sido definido, es conveniente establecer ciertas normas que harán que las definiciones de las ecuaciones 4.7 y 4.8 se acoplen a la implementación que se desea realizar. Estas normas se deben a que la ecuación 4.8 podría resultar en cualquier valor, sin embargo, en una imagen solamente existen

píxeles, lo cual limita el resultado de la ecuación 4.8 a cuatro valores posibles esta limitación se encuentra ilustrada en la figura 4.7. El cálculo del ángulo del gradiente es importante puesto que deja a conocimiento hacia que dirección del píxel que se esté analizando se encuentra un cambio brusco de intensidad.

Se analiza el elemento central de la siguiente matriz.

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ 9 & 5 & 1 \\ 4 & 3 & 8 \end{bmatrix}$$

las cuatro direcciones posibles mencionadas se ilustran en la figura 4.7

$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 6 \\ \color{red}{9} & \color{blue}{5} & \color{red}{1} \\ 4 & 3 & 8 \end{bmatrix}$ $\theta = 0$	$\begin{bmatrix} 2 & \color{red}{7} & 6 \\ 9 & \color{blue}{5} & 1 \\ 4 & \color{red}{3} & 8 \end{bmatrix}$ $\theta = 90$
$\begin{bmatrix} 2 & 7 & \color{red}{6} \\ 9 & \color{blue}{5} & 1 \\ \color{red}{4} & 3 & 8 \end{bmatrix}$ $\theta = 45$	$\begin{bmatrix} \color{red}{2} & 7 & 6 \\ 9 & \color{blue}{5} & 1 \\ 4 & 3 & \color{red}{8} \end{bmatrix}$ $\theta = 135$

Figura 4.7: Cuatro posibles valores de ángulo del gradiente para una imagen dada.

Para poder limitar el resultado de la ecuación 4.8 es preciso establecer un criterio de como interpretar los ángulos resultantes, dicho criterio podría variar según la apreciación del desarrollador, sin embargo, en la mayoría de fuentes de información se sugiere el indicado en la ecuación 4.9

$$\theta = \begin{cases} 0 & \text{si } \theta < 22,5 \text{ o } \theta \geq 157,5 \\ 45 & \text{si } 22,5 \leq \theta < 67,5 \\ 90 & \text{si } 67,5 \leq \theta < 112,5 \\ 135 & \text{si } 112,5 \leq \theta < 157,5 \end{cases} \quad (4.9)$$

Una vez terminado el proceso de limitación del ángulo del gradiente es posible proceder al último paso necesario para obtener los bordes de una imagen. Para este último paso es preciso definir un concepto importante que Canny decidió implementar en su algoritmo con el fin de hacerlo más certero.

#### 4.2.5. Histéresis y Umbral

En el procesamiento digital de imágenes, los filtros para la detección de bordes utilizan un umbral de aceptación conocido como umbral. Este umbral es el encargado de juzgar si cada píxel de la imagen pertenece o no a un borde de la misma, es decir, si el píxel analizado resulta mayor o igual que el umbral el píxel es considerado como parte de un borde y se le asigna el valor de 255 (blanco en la escala de grises); de lo contrario, de ser menor, se asignará 0 (negro en la escala de grises), esto es arbitrario ya que podrían asignarse los valores de forma contraria sin afectar la esencia del resultado final. El umbral puede ser fijo o adaptativo, el fijo es definido por el desarrollador según las características de la imagen a analizar; el adaptativo como su nombre lo indica, se adapta a la imagen recalculando su valor para cada cierto número de píxeles, resultando así mucho más preciso que un umbral fijo. Sin embargo el umbral adaptativo es útil cuando los objetivos a analizar son muy diferentes uno de otro o cuando el ruido en la imagen es considerable.[1]

Si bien el concepto de umbral funciona bastante bien en la mayoría de filtros para detección de bordes, podría resultar un poco inexacto en algunos casos; es por esto que Canny decidió implementar dos umbrales de decisión y aplicar el mismo concepto antes mencionado para los valores mayores al umbral alto o menores al umbral bajo según corresponda. Pero ¿qué pasa con los valores que se encuentran entre estos dos umbrales?. El espacio entre los dos umbrales es lo que se conoce con el nombre de histéresis.

Con el fin de explicar mejor el concepto de histéresis considere la figura 4.8.

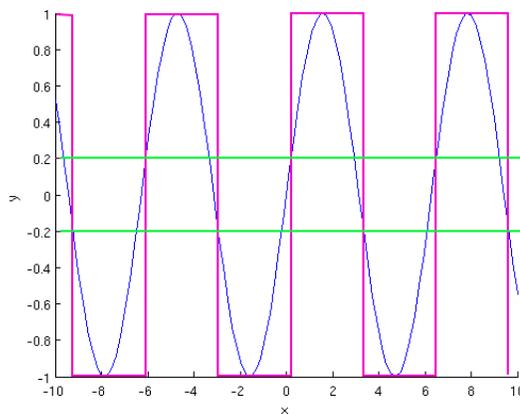


Figura 4.8: Función seno con histéresis entre 0,2 y  $-0,2$ .

Como se observa en la figura 4.8, los valores de la función seno mayores a 0,2 se les asigna el valor de 1, a los menores a  $-0,2$  el valor de  $-1$  y a los que se encuentran en la histéresis definida se le asigna el valor del punto anterior a éste, es por esto que la función cuadrada que vemos presenta transiciones solamente cuando el valor de la función sube del umbral alto o baja del umbral bajo.

Este concepto es implementado en imágenes con la ayuda del ángulo del gradiente calculado en la ecuación 4.8. si el píxel analizado cae en el intervalo de la histéresis su valor dependerá de los valores de los píxeles que su respectivo

ángulo señale, es decir, dependerá de los valores que se encuentren a 0, 45, 90 o 135 grados según corresponda, tal como se ilustró en la figura 4.7.

Una vez que se haya aplicado el umbral respectivo a cada píxel de la imagen se obtendrá un resultado como el que se indicó en la figura 4.1.b al inicio de la sección 4.2.1.

## 4.3. Localización del Iris en la Imagen

### 4.3.1. Preprocesamiento para la Localización

Una vez que los bordes de la imagen han sido detectados de forma exitosa es posible avanzar a la siguiente etapa, la cual consiste en la detección de la pupila y el iris en la imagen, es decir, se deben obtener los radios y centros para así poder aproximar de la mejor forma la curva circular que describe cada uno. Es preciso mencionar que la captura de las imágenes debe poseer las características mencionadas en el Capítulo 3. Pues la ubicación del objetivo es de mucha ayuda a la hora de implementar el método que se describirá en las secciones siguientes.

Como ya se observó en el capítulo 4.2 la detección de bordes resulta en una imagen en blanco y negro, en la cual los blancos representan los bordes detectados por el algoritmo de Canny. Lo importante para esta etapa es justamente estos puntos blancos, ya que en ellos se encuentra la esencia de la localización, sin embargo, como se observa en la figura 4.1.b los bordes detectados son ligeramente gruesos, esto se debe principalmente al ruido que posee la imagen; esto significa que existen más puntos blancos y como se explica en la sección 4.3.3 es muy importante en la etapa de localización de centros y radios; es por esto que previamente a calcular las curvas perimétricas es necesario adelgazar los bordes obtenidos mediante

procedimientos matemáticos llamados operaciones morfológicas.

### 4.3.2. Operaciones Morfológicas

La palabra morfología es una palabra que hace referencia a la forma y estructura de los objetos, sin embargo, en el procesamiento digital de imágenes morfología se refiere a una metodología desarrollada por el profesor Georges Matheron (1930-2000) el nombre de operaciones morfológicas es ideal para esta metodología pues esta basada en la estructura geométrica que presenta una imagen.

El análisis morfológico en imágenes se realiza en base a una forma geométrica predeterminada y conocida, generalmente en el procesamiento de imágenes es el cuadrado, esta geometría es mucho más pequeña que la estructura que se desea analizar y abarca pequeñas porciones de la misma, si se recorre esta pequeña estructura por todas las partes de la estructura mas grande es posible conocer la forma de la estructura original. Existen varias operaciones morfológicas como la erosión, dilatación, apertura, cierre y el método morfológico llamado adelgazamiento o esquematización mejor conocido como "Thinning".[10] De los mencionados anteriormente los que son de interés en esta sección son dos: la erosión y el adelgazamiento, los cuales ayudarán a afinar los bordes de la imagen y así disminuir en lo posible la cantidad de puntos blancos existentes.

#### Erosión

La erosión es una operación morfológica que consiste principalmente en combinar dos conjuntos mediante la resta vectorial. La erosión de dos conjuntos  $F$  y  $H$  esta definida como el conjunto de todos los elementos  $x$  para los cuales  $x + y \in F$  para todo  $y \in H$ . Pero en esta sección se limitará a utilizar el concepto fundamental de la erosión, es decir, la resta vectorial. En la figura 4.9, es posible

observar la resta del módulo de la imagen y el resultado de erosionar el rectángulo pequeño en el grande.<sup>3</sup>

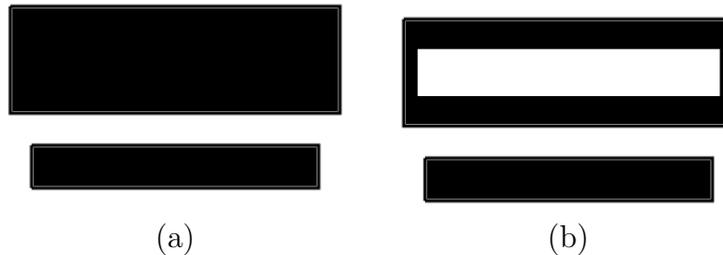


Figura 4.9: Erosión del rectángulo pequeño en el rectángulo grande

Ahora considere la figura 4.10. En ésta es posible observar en 4.10.a una figura geométrica y en 4.10.b la detección de bordes de la misma. Si se realiza una erosión de a en b, es decir, la resta  $b - a$ ; el resultado que se obtendrá serán bordes ligeramente mas delgados que los detectados en la figura 4.10.b. Ahora considere realizar la misma operación repetidas veces hasta que el resultado entre una y otra operación sea despreciable, el resultado que se obtendrá es similar al de la figura 4.10.c, sin embargo, después de realizar esta operación es preciso realizar un pequeño ajuste al resultado, pues al restar una imagen de escala de grises de una imagen de blanco y negro se obtendrá nuevamente una imagen en escala de grises, esto se observa claramente en la figura 4.10.c, por lo tanto es necesario remplazar todos los puntos que no sean blancos por negros, es decir,  $si\ p \neq 255 \rightarrow p = 0$  esto es para mantener una imagen basada en dos valores, es decir "binaria" lo cual será de utilidad en la sección 4.3.3.

### Adelgazamiento, esqueletización o "Thinning"

Los métodos morfológicos de adelgazamiento pueden resultar en algunos casos complicados de implementar, sin embargo son muy útiles cuando se busca obtener

<sup>3</sup><http://omarsanchez.net/opemorf.aspx>

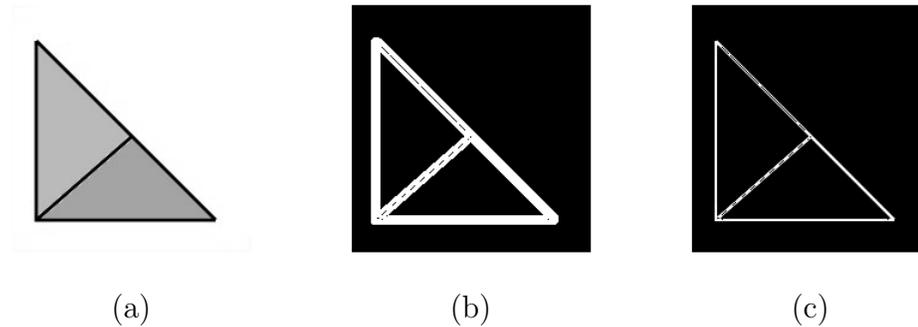


Figura 4.10: Erosión de (a) en (b) repetidas veces; el resultado es (c)

un resultado refinado.

A diferencia de la erosión, el adelgazamiento requiere de un poco más de imaginación para comprender el funcionamiento del mismo.

Si bien existen diferentes métodos de adelgazamiento todos están basados en una ventana que consta de un píxel central  $p$  y los ocho píxeles que lo rodean a éste. Éste método es generalmente usado para remover los bordes innecesarios de la imagen analizada. Esto se consigue suprimiendo los elementos que no tienen valores máximos en el módulo del gradiente obtenido en la sección 4.2.4, sin embargo, esto no puede ser realizado muy a la ligera, pues es posible perder información valiosa si se aplica este método de una forma incorrecta. Es por esto que antes de suprimir los valores no máximos es preciso referirse al ángulo que pertenece a cada gradiente para conocer que dirección tiene el borde que se desea adelgazar y según estos dos parámetros, el módulo y el ángulo de gradiente, se toma una decisión de suprimir o no suprimir el píxel central  $p$ .

El primer paso es referirse al ángulo del píxel central, de esta forma se conoce la dirección del borde, así es posible seleccionar los dos píxeles vecinos  $a1$  y  $a2$  que se encuentran en dicha dirección como se muestra en la figura 4.11.a y obtener el ángulo correspondiente de cada uno de ellos. Esto se hace con el fin de comparar los ángulos vecinos con el central y conocer cuál es la tendencia del borde de una

forma más certera ya que al realizar la aproximación de los ángulos explicada en la sección 4.2.4 la tendencia del borde también es aproximada; para esto se define un factor de tolerancia angular  $\alpha$  y se analiza el valor absoluto de la diferencia de los ángulos vecinos con el píxel central y el factor de tolerancia  $\alpha$ , es decir  $|\theta_{a1} - \theta_p| \leq \alpha$  y  $|\theta_{a2} - \theta_p| \leq \alpha$  si uno de ellos no cumple esta condición no es posible suprimir el elemento central  $p$ , pues no se conoce con certeza la tendencia del borde, sin embargo si la condición mencionada se cumple es necesario referirse al módulo de los gradientes de los elementos que se encuentran en la dirección perpendicular a la dirección del píxel central  $p$ , es decir, otros dos vecinos  $q1$  y  $q2$ , como se indica en la figura 4.11.b, y verificar si el módulo del gradiente de al menos uno de estos dos supera el módulo del gradiente de  $p$ , es decir,  $|G_{q1}| \geq |G_p|$  o  $|G_{q2}| \geq |G_p|$ . De no cumplirse esta condición de igual forma no se podrá suprimir el elemento  $p$ , pero si esta condición también se cumple es posible decir que el elemento  $p$  es un borde innecesario y suprimirlo asignándole un valor de 0.

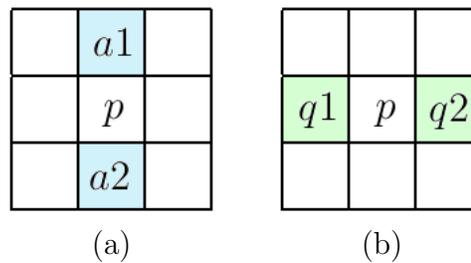


Figura 4.11: (a) Elementos  $a1$  y  $a2$  (b) Elementos perpendiculares  $q1$  y  $q2$

### 4.3.3. Detección de Curvas Paramétricas

Ya se ha explicado cómo detectar los bordes de una imagen y cómo adelgazar los mismos con el propósito de disminuir los puntos blancos existentes en la imagen, sin embargo no se ha explicado porqué la necesidad de realizar todos estos procesos.

Lo que se busca alcanzar es obtener las posiciones de los centros y radios de los dos elementos circulares del ojo humano la pupila y el iris. Con el fin de cumplir esta tarea se usará un algoritmo conocido en el procesamiento digital de imágenes como la transformada de Hough. Esta transformada en un principio fue hecha para la detección de líneas rectas, sin embargo se ha extendido para poder detectar cualquier tipo de forma que pueda ser expresada matemáticamente.

La transformada de Hough está basada en un principio básico muy conocido. Por un punto es posible trazar infinitas rectas e infinitos círculos, sin embargo, cuando se implementa este concepto en una imagen, donde las pendientes de la rectas, los radios de los círculos y sus respectivos centros son limitados por la forma del espacio de dicha imagen el número de posibilidades se reduce.

Lo que se plantea realizar es considerar que todo punto blanco en la imagen es un posible centro  $(x, y)$  con un radio  $r$ , el cual al igual que el centro es desconocido. Para cada uno de estos posibles centros se debe trazar una circunferencia, la cual está regida por la ecuación 4.10, utilizando un rango de radios determinado en el cual se estima debe estar el círculo buscado. A la vez se crea un vector en el cual se irán almacenando los centros, radios y además el número de puntos blancos de la imagen que coincidieron con los puntos de la circunferencia trazada, a este vector se lo conoce con el nombre de acumulador.

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad (4.10)$$

Donde  $a$  y  $b$  son las coordenadas del centro y  $r$  es el radio del círculo localizado.

Al terminar de probar todos los centros posibles con el rango de radios dado el gráfico del acumulador resulta en una figura de tres dimensiones como la que se indica en la figura 4.12 en cual se pueden notar claramente un pico en cada una

de las gráficas, estos picos representan los parámetros que describen la ecuación del círculo encontrado en la imagen. Una vez que el acumulador es obtenido es posible determinar con una aproximación muy certera donde se encuentra el círculo buscado, que para el fin de este documento son los círculos descritos por la pupila y el iris respectivamente. La figura 4.13 nos muestra el resultado.

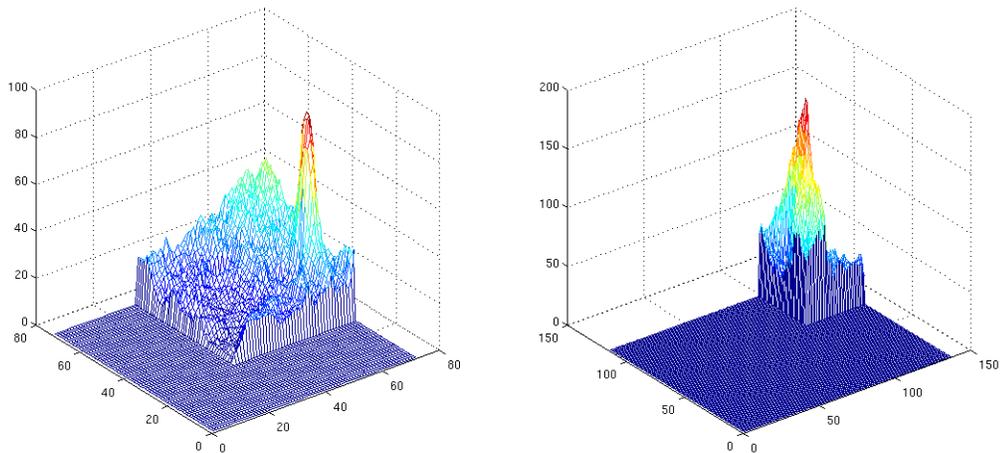
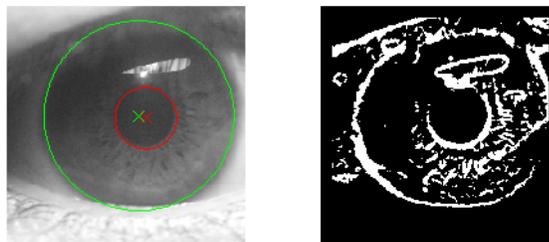


Figura 4.12: Acumulador de Hough para dos círculos distintos



Localizados.png

Figura 4.13: Curvas paramétricas del Iris y Pupila detectados

Por último es necesario repetir este proceso detectando solamente los bordes horizontales y utilizando la transformada de Hough, pero esta vez utilizando la ecuación de una parábola con el fin de detectar los párpados y así conocer las partes del iris que se encuentran obstruidas por los mismos, y generar las llamadas plantillas de ruido. Dichas plantillas se observan en la figura 4.16.c obtenida de [13]

## 4.4. Normalización del Iris

### 4.4.1. Preprocesamiento para la Normalización

Ahora que la etapa de segmentación ha sido concluida es posible entrar en la siguiente etapa de este sistema, la de normalización del iris. Se podría entender por normalización como una estandarización de la porción de la imagen de donde se extraerá el patrón biométrico. Esto se debe a que como ya se explicó en el Capítulo 3 el tamaño de la pupila y su posición pueden variar en las distintas imágenes debido a las condiciones en las que esta fue obtenida. Es por esto que la esencia de esta etapa está en independizar el tamaño de la pupila para las diferentes imágenes de un mismo iris.

Antes de entrar en la normalización es preciso efectuar ciertos pasos para preparar a la imagen a ser normalizada. El primer paso consiste en eliminar o convertir todos los píxeles que no pertenezcan a la región localizada en la etapa de segmentación descrita en las secciones 4.2 y 4.3.

#### 4.4.2. Normalización

Una vez completado este proceso es posible normalizar la imagen de tal manera que el tamaño de la pupila y la posición de la misma sean independientes en el proceso de identificación. Esto puede ser alcanzado pasando las coordenadas de la imagen adquirida  $(x, y)$  a un sistema de coordenadas polares  $(r, \theta)$  y muestreando para todos los ángulos posibles sus respectivos radios. Con estos valores se crea una nueva imagen a la cual se la denominará plantilla.

La plantilla de identificación debe tener un tamaño constante para todas las muestras posibles, para ello es preciso definir el tamaño de la misma, hay que considerar que el tamaño de la plantilla influirá directamente en las probabilidades de error, es por esto que se sugiere utilizar un plantilla de tamaño considerable donde exista suficiente información para que la desviación estándar entre muestras de un mismo iris sea pequeña y viceversa. Generalmente el tamaño de la plantilla es un rectángulo de  $64 \times 512$  donde cada fila representa un radio  $r$  el cual está dentro de la región del iris localizada y las columnas representan los diferentes ángulos  $\theta$  que forman el círculo correspondiente al radio  $r$  mencionado. Este concepto se lo ilustra en la figura 4.14 donde el círculo verde representa la pupila con su respectivo centro, el rojo el iris y su centro, y los azules las diferentes muestras tomadas con su pseudo-centro el cual es calculado con el promedio de los centros de la pupila y el iris. Además se debe definir el rango de radios entre los cuales las muestras serán tomadas. De esta manera se garantiza que de no ser concéntricos el iris y la pupila, no se tomaría muestras que se encuentren fuera de la región localizada del iris.

Al término de este proceso se obtendrá una matriz de dimensiones  $64 \times 512$  denominada plantilla, sobre la cual se realizará el análisis de textura. El resultado de la Normalización se lo puede observar claramente en la figura 4.15

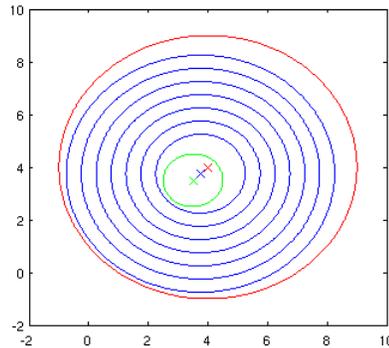


Figura 4.14: Muestreo para la Normalización

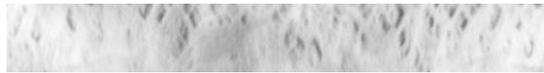


Figura 4.15: Plantilla del Iris

## 4.5. Codificación

Una vez que las etapas anteriores han sido concluidas exitosamente es posible entrar a extraer la información biométrica, la cual permitirá distinguir una persona de otra.

Como ya se había mencionado anteriormente lo que hace singular y único al iris es la textura que éste presenta, por lo tanto ésta sección está dedicada a explicar el proceso que se seguirá para poder identificar texturas en las imágenes.

Existen diferentes métodos para detectar textura en las imágenes. Entre ellos es usual que el factor determinante para reconocer una textura de otra sean el grado de contraste, la periodicidad y dirección o dirección y frecuencia, es decir, factores que son independientes de la intensidad luminosa de la imagen. Sin embargo existen métodos alternativos que han probado resultar muy eficientes.

Dennis Gabor, un físico Húngaro nacido en Budapest en 1900 conocido por ser el inventor de la holografía, desarrolló los llamados Filtros de Gabor los cuales son una variante de la transformada de Fourier y resultan ser muy útiles en el pro-

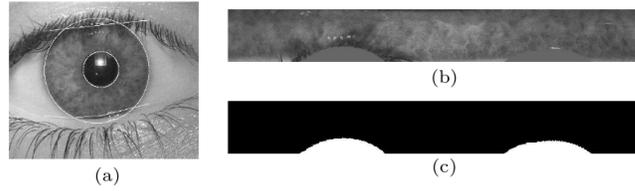


Figura 4.16: “Normalización (a) Imagen segmentada (b) Iris Normalizado (c) Plantilla de Ruido”

cesamiento de imágenes y han probado ser muy eficientes a la hora de reconocer texturas. Estos filtros están basados en un principio básico de las telecomunicaciones, la modulación de señales.<sup>4</sup>

#### 4.5.1. Filtros de Gabor

El filtro de Gabor está compuesto por una envolvente gaussiana y una función sinusoidal compleja que hace las veces de moduladora. Un filtro de Gabor puede ser representado como se indica en la ecuación 4.11

$$\Psi(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{-2\pi i U_x x} \quad (4.11)$$

En la ecuación 4.11 es posible notar claramente las dos partes de un filtro de Gabor. La gaussiana que hace las veces de envolvente y la seno compleja representada por la expresión  $e^{2\pi i U_x x}$ , donde  $U_x$  es la frecuencia intermedia del filtro y hace el papel de moduladora. Sin embargo como se desea implementar dicho filtro a una imagen es preciso expandir este concepto a dos dimensiones por lo cual el filtro de Gabor se definiría según la ecuación 4.12

$$\Psi(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x^2\sigma_y^2} e^{-\frac{1}{2}\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}} e^{-2\pi i(U_x x + U_y y)} \quad (4.12)$$

<sup>4</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Dennis\\_Gabor](http://es.wikipedia.org/wiki/Dennis_Gabor)

Donde  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  son las frecuencias intermedias y varianzas del filtro de Gabor en sus respectivas dimensiones.

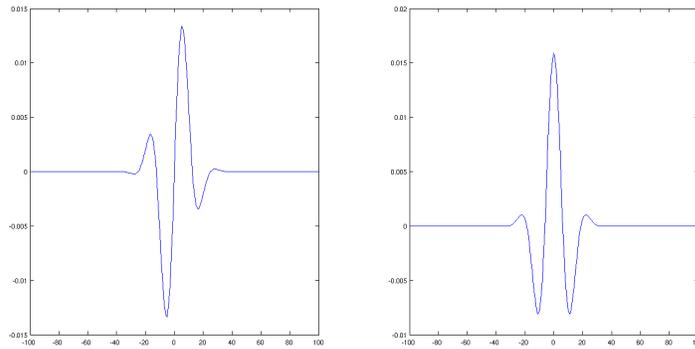


Figura 4.17: Filtro de Gabor 1D con  $\sigma_x = 10$  y  $U_x = 0,04$

Para ilustra este concepto de una mejor manera se puede observar las figuras 4.17 y 4.18 donde se encuentra representado un filtro de Gabor en una y en dos dimensiones respectivamente. Las cuatro gráficas corresponden a la salida de un filtro de Gabor que como se puede apreciar en la ecuación 4.12 es compleja y por lo tanto consta de dos partes, la imaginaria y la real las cuales están ilustradas respectivamente en 4.17 y 4.18

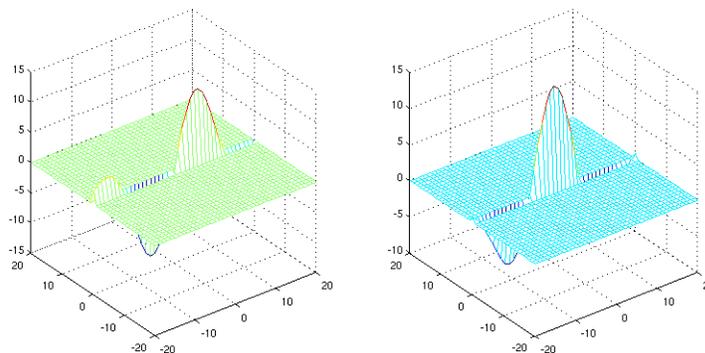


Figura 4.18: Filtro de Gabor 1D con  $\sigma_x = 10$ ,  $U_x = 0,04$ ,  $\sigma_y = 0,01$  y  $U_y = 0,4$

Una vez que el filtro ha sido creado, éste se aplicará a la plantilla obtenida

en la sección 4.4.2 mediante la operación de convolución. Para esto, primero se divide la plantilla en señales unidimensionales y se pasará el filtro por cada una de ellas y por último se las agrupará en una nueva imagen, de esta forma es posible utilizar un filtro de Gabor unidimensional o a su vez uno bidimensional pero con un  $\sigma_y$  muy pequeño, de tal forma que la influencia sobre el eje  $y$  sea de igual forma muy pequeña ya que la textura que es relevante al proceso es la que se encuentra en eje  $x$ , la convolución del filtro y la imagen se detalla en la ecuación 4.13. Cabe mencionar que el resultado de dicha convolución es una señal de  $M \times 2N$  donde  $M$  es el número de filas y  $N$  en número de columnas de la plantilla original. Es por esto que se debe tomar solamente la parte central de este resultado para obtener un resultado de las mismas dimensiones de la plantilla original este concepto se lo puede apreciar en la figura 4.19 en la cual se observa el resultado real de la convolución, sin embargo en la figura 4.20 se puede apreciar el resultado de la parte central de dicha convolución que es la parte que contiene la información necesaria para la codificación.



Figura 4.19: (a) Parte Imaginaria de la plantilla filtrada (b) Parte real de la plantilla filtrada



Figura 4.20: (a) Parte Imaginaria de la plantilla filtrada (b) Parte real de la plantilla filtrada

Este resultado se lo puede obtener gracias a que el filtro de Gabor es complejo, de esta forma es posible utilizar las partes imaginaria y real para extraer una descripción de la estructura de la imagen en términos del módulo y fase lo cual corresponde a la modulación de la señal en amplitud y fase respectivamente como

se menciona en ???. La modulación de módulo y fase se encuentran descritas según la ecuación 4.14 y 4.15 respectivamente.

$$\tau_{(x,y)} = \Psi_{(x,y)} * I_{(x,y)} \quad (4.13)$$

$$M_{(x,y)} = \sqrt{(Re\{\Psi_{(x,y)} * I_{(x,y)}\})^2 + (Im\{\Psi_{(x,y)} * I_{(x,y)}\})^2} \quad (4.14)$$

$$\phi_{(x,y)} = \arctan \left( \frac{(Im\{\Psi_{(x,y)} * I_{(x,y)}\})}{(Re\{\Psi_{(x,y)} * I_{(x,y)}\})} \right) \quad (4.15)$$

donde  $I_{(x,y)}$  es la plantilla original.

Sin embargo la modulación del módulo no tiene participación en el proceso de codificar la textura, pues el módulo se encuentra directamente relacionado con la intensidad de luz, contraste y otros factores de los cuales se busca independizar el proceso de codificación; es por esto que solamente se utilizará la modulación de fase.

### 4.5.2. Demodulación de Fase

La modulación de fase deja un resultado matricial, es decir, una matriz que posee la fase del resultado complejo obtenido al convolucionar el filtro con la plantilla. Ésta es la que contiene la información de la textura trascendental para la demodulación de fase, la cual consiste simplemente en asignar dos bits dependiendo del plano complejo en el que se encuentra la fase como se muestra en la figura 4.21 obtenida en [6] de tal forma que el resultado de esta codificación será una matriz binaria de  $M \times 2N$ , la cual es el código que se usará para realizar la comprobación de identidad o autenticidad de las muestras.

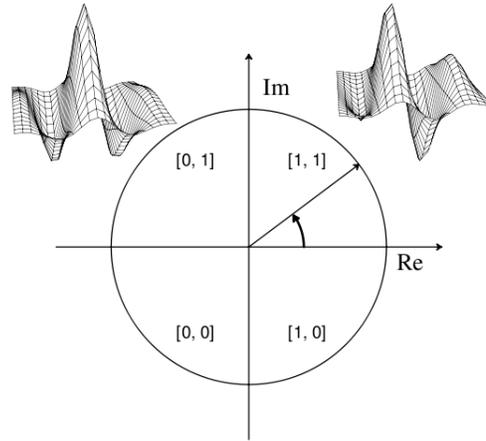


Figura 4.21: Demodulación de Fase en Cuadratura

## 4.6. Cotejamiento de Códigos de Iris

Existen diferentes métodos de comparación, ya sean estadísticos, por redes neuronales, o por simple acción, sin embargo a la hora de cotejar códigos pertenecientes a texturas del iris, estos resultan extremadamente grandes para implementar una red neuronal y a su vez, por la variación de las condiciones a la hora de adquirir las imágenes, resulta muy ineficiente comparar dos códigos por medio de una simple comparación. Es por esto que se ha optado por implementar un análisis estadístico.

Para obtener una medida de similitud entre dos muestras, es posible utilizar una operación conocida como la distancia de Hamming definida en la ecuación 4.16. Ésta consiste en medir el porcentaje de discrepancia entre dos códigos, sin embargo como se mencionó esto resulta altamente ineficiente, por lo cual es recomendable realizar un promedio de varias muestras filtradas de un mismo individuo, las cuales son el resultado de convolucionar el filtro de Gabor con cada muestra, como se indica en la ecuación 4.13, es decir se obtiene un promedio de las imágenes de la figura 4.20 de las diferentes muestras promediando las partes

imaginarias y las partes reales respectivamente. El resultado de este promedio es sometido a una demodulación de fase en cuadratura y así obtener el código con el que se podrá comparar cualquier muestra deseada.

$$HD = \frac{code1 \otimes code2}{M \times N} \quad (4.16)$$

En la cotejación de códigos de iris la distancia de Hamming varía poco con respecto a la definida en la ecuación 4.16, puesto que es necesario comparar los códigos solamente con los bits que sean válidos para una determinada muestra [6]. Es por esto que se utilizan las plantillas de ruido que se indican en la figura 4.16.c De esta forma, la distancia de Hamming quedaría definida como se indica en la ecuación 4.17

$$HD = \frac{\| (code1 \otimes code2) \cap (M_{r1} \oplus M_{r2}) \|}{\| (M_{r1} \oplus M_{r2}) \|} \quad (4.17)$$

# Capítulo 5

## Implementación del Sistema

Con el objetivo de construir un prototipo para implementar un sistema de reconocimiento del iris ocular se ha optado por utilizar la herramienta de procesamiento MatLab, esto se debe a que este lenguaje de programación es muy especializado en el manejo de matrices y vectores de gran tamaño, además posee una ágil capacidad de procesamiento en procesos repetitivos y en manejo de memoria.

El prototipo que se construyó se lo puede resumir el diagrama de actividad de la figura 5.1

### 5.1. Adquisición de las imágenes

Para implementar un sistema de identificación biométrico, lo primero que se debe tomar en cuenta es la facilidad de obtener la muestra a ser procesada. En el caso de las muestras del iris es relativamente simple y en sistemas desarrollados la cooperación del usuario es casi nula, sin embargo el prototipo que se describirá a lo largo de este capítulo requiere un leve grado de cooperación por

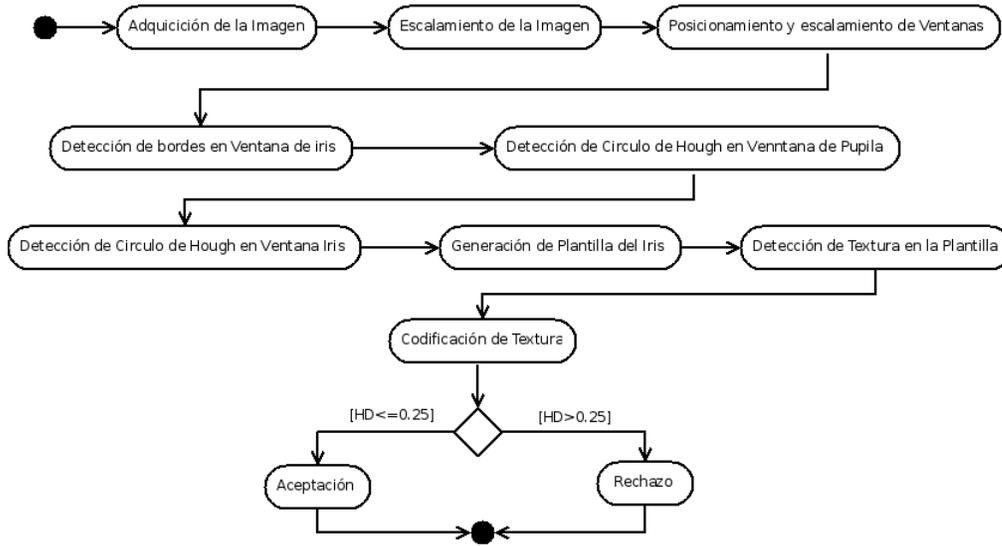


Figura 5.1: Diagrama general del prototipo

parte de los usuarios, pues la cámara que utiliza para obtener las imágenes es una cámara digital común de 6,1 megapíxeles a la cual se ha adaptado un lente macro de  $46mm$ , el cual provoca que pequeños movimientos en la cámara produzcan grandes cambios en la imagen. El uso de este lente es importante pues es el que permitirá alcanzar los rasgos de la textura del iris que lo hacen singular.

Para evitar en lo posible el movimiento al momento de obtener las muestras se utiliza un pedestal donde la cámara es fijada de manera que el operador se limite a enfocar y fotografiar el iris del individuo a identificar. Además el usuario deberá colocar la quijada en una base y apegar la frente a un tope de tal manera que la cabeza esté recta y alineada con la cámara, una vez que el usuario coopere en esto, simplemente se ilumina el ojo con una linterna pequeña con luz producida por un led y se fotografía el iris del ojo.

Para implementar el sistema que se describe en las secciones siguientes es necesario obtener alrededor de 20 imágenes del mismo iris con el fin que se explicó en la sección 4.6 esto puede resultar molesto por la cámara utilizada en

este prototipo, sin embargo existen cámaras especiales las cuales son capaces de obtener alrededor de esa misma cantidad de imágenes en unos pocos segundos.

## 5.2. Segmentación del Iris

Antes de implementar la etapa de segmentación en el prototipo es preciso tomar en cuenta ciertos detalles que resultan ser de vital importancia para el correcto funcionamiento del prototipo

Primeramente hay que considerar que la imagen obtenida es una imagen de 6,1 megapíxeles, es decir el tamaño de la imagen en escala de grises es de 6'117,552 píxeles lo cual es una cantidad de información considerable, por lo que el primer paso será escalar la imagen a un tamaño más manejable, sin embargo la imagen original no es desechada pues se escala solamente para realizar la detección de bordes y la detección de curvas paramétricas explicadas en las secciones 4.2 y 4.3 respectivamente; de las cuales se obtendrá los datos necesarios, que serán reescalados para implementarlos en la imagen original.

La imagen es escalada tomando un porcentaje del número de filas y columnas de la imagen original, por ejemplo si se desea una imagen del  $p\%$  de la original es posible calcular el número de filas y columnas que deben ser descartadas de la imagen obteniendo el factor  $S = \left(\frac{p}{100}\right)^{-1}$  y se toma una de cada  $S$  filas y una de cada  $S$  columnas.

Otro factor importante a considerar es el tiempo de procesamiento que podría tomar ejecutar los algoritmos descritos anteriormente en las secciones 4.2 y 4.3 sobre una imagen de las características antes mencionadas, es por esto que al momento de implementar dichos algoritmos se decidió reducir esa cantidad de información por medio de unas ventanas sobre las cuales se aplicarán los algoritmos

respectivos. En la figura 5.2 se pueden apreciar dichas ventanas con claridad estas ventanas salen por defecto centradas en la imagen, sin embargo, son ajustables en posición y tamaño de tal manera que el operador pueda ajustarlas en caso de que estas no encierren el área deseada de forma correcta; estos ajustes se los realizan por medio de la interfaz gráfica como se indica en la figura 5.2.

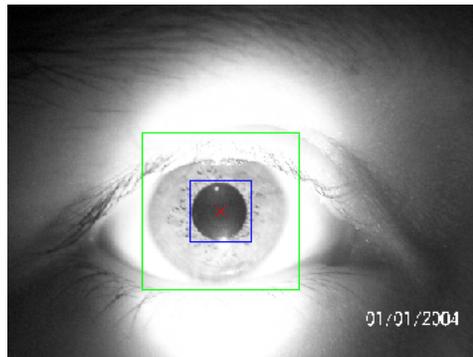


Figura 5.2: Ventanas de las Zonas de interés

### 5.2.1. Detección de Bordes

Como se mencionó en la sección 4.2 previo a entrar a la detección de bordes es preciso aplicar un filtro de Gauss con el cual se busca disminuir el ruido de la imagen, para lo cual se crea la máscara de Gauss definida en la ecuación 4.5 y convolucionando dicha máscara con el pedazo de la imagen en el que se desea conocer los bordes, es decir, en la ventana mencionada en la sección anterior; específicamente, el filtro de Gauss y la detección de bordes de Canny se aplicará solamente al área encerrada por la ventana verde observada en la figura 5.2. La implementación de la detección de bordes esta claramente detallada en el diagrama de actividad de la figura 5.3.

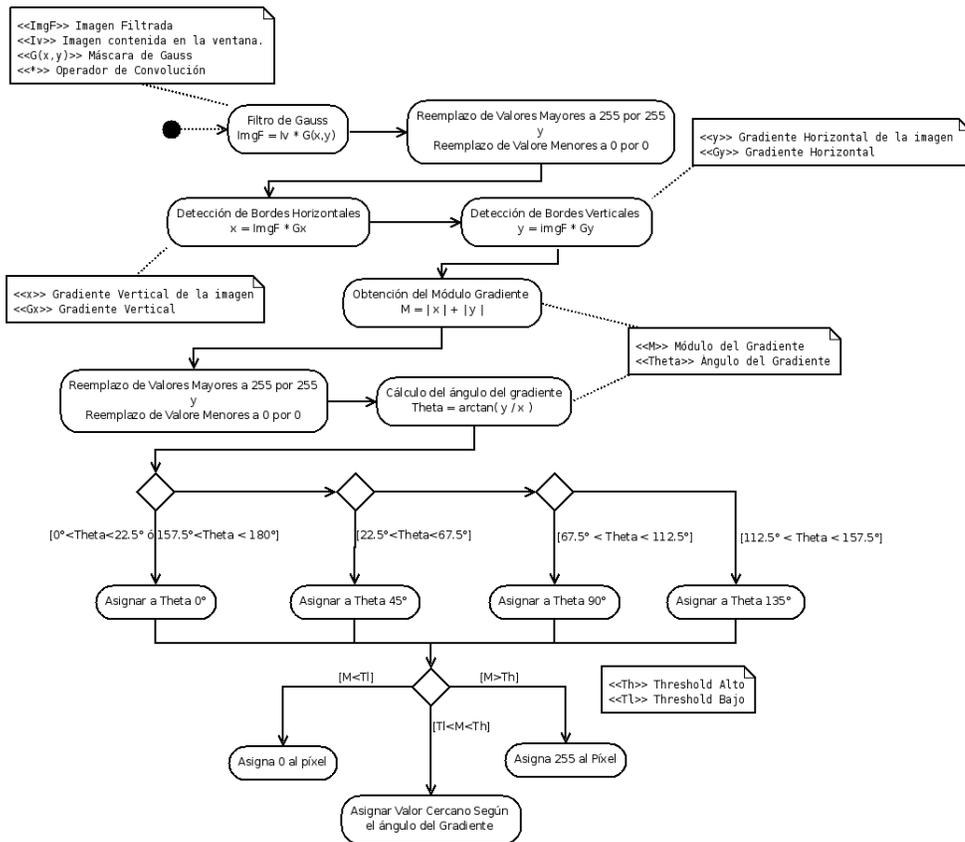


Figura 5.3: Diagrama de actividad para la detección de bordes.

### 5.2.2. Detección del Círculo de Hough

Una vez que los bordes han sido localizados en la imagen es posible utilizar está imagen binaria para detectar los círculos de los contornos de la pupila y el iris. Debido a que el algoritmo de Hough podría tomar un tiempo considerable en detectar los círculos de dichos contornos es necesario reducir en lo posible la información que éste deba procesar; para ello se utilizan las dos ventanas observadas en la figura 5.2 para el iris y la pupila respectivamente. Cabe mencionar que este algoritmo se lo debe realizar dos veces, una para cada contorno pues el objetivo es encontrar una curva que describa los bordes interno y externo del iris de la forma más precisa posible.

El algoritmo de Hough descrito en la sección 4.3.3 devuelve los parámetros de la curva deseada, en este caso los parámetros de la ecuación del círculo descrita en la ecuación 4.10. En otras palabras devolverá las coordenadas del centro  $a, b$  y el radio  $r$  según lo indique el pico más alto del acumulador como se lo puede apreciar en la figura 4.12.

El primer círculo que se detectará es el contorno de la pupila; primeramente se debe definir un número de puntos o píxeles como posibles centros y segundo se debe definir un rango de radios en el cual el círculo buscado se encuentre, este proceso es realizado utilizando el centro de las ventanas y definiendo una ventana interna alrededor de este centro con el fin de definir una cantidad de píxeles como posibles centros y el rango de radios estará determinado por la ventana que encierra la pupila. De esta forma se obtienen los parámetros necesarios para detectar el círculo de Hough. El procedimiento para detectar los contornos se lo puede observar en el diagrama de actividad de la figura 5.4.

Una vez detectado el borde de la pupila se procede a calcular el borde del iris aplicando el mismo diagrama de actividad de la figura 5.4 pero esta vez los parámetro de entrada cambian un poco. Los centros posibles son definidos nuevamente con una ventana alrededor del centro detectado de la pupila en el paso anterior y el rango de radios está definido por la ventana que encierra al iris.

### 5.2.3. Generación de la Plantilla del Iris

El proceso de generar la platilla del iris se lo realiza a base de un muestreo circular y una transformación de coordenadas polares a coordenadas rectangulares, con el fin de independizar del proceso el tamaño de la pupila.

El muestreo se lo realiza tomando un determinado número de radios entre los dos bordes interno y externo del iris y un determinado número de ángulos, para

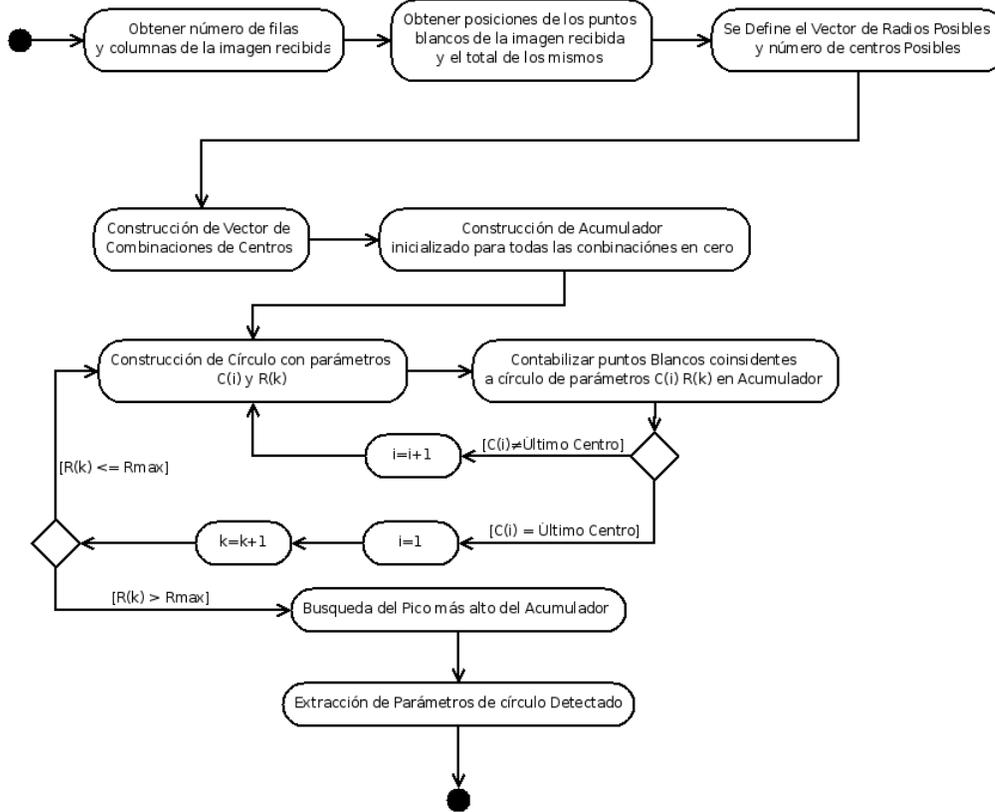


Figura 5.4: Diagrama de actividad para la detección de curvas perimétricas

lo cual es necesario conocer los parámetros de los círculos tanto de la pupila como del iris. El Proceso de muestreo y la transformación de coordenadas se encuentra detallado en la sección 4.4.2 y el proceso de prototipo desarrollado está definido según el diagrama de actividad de la figura 5.5.

Cabe destacar que los centros de la pupila y el iris no necesariamente son los mismos, es decir que la pupila y el iris no siempre son concéntricos, es por esto que es necesario calcular un pseudo centro el cual se obtiene mediante el promedio de ambos centro promediando la coordenada  $x$  de ambos centros y la coordenada  $y$  respectivamente.

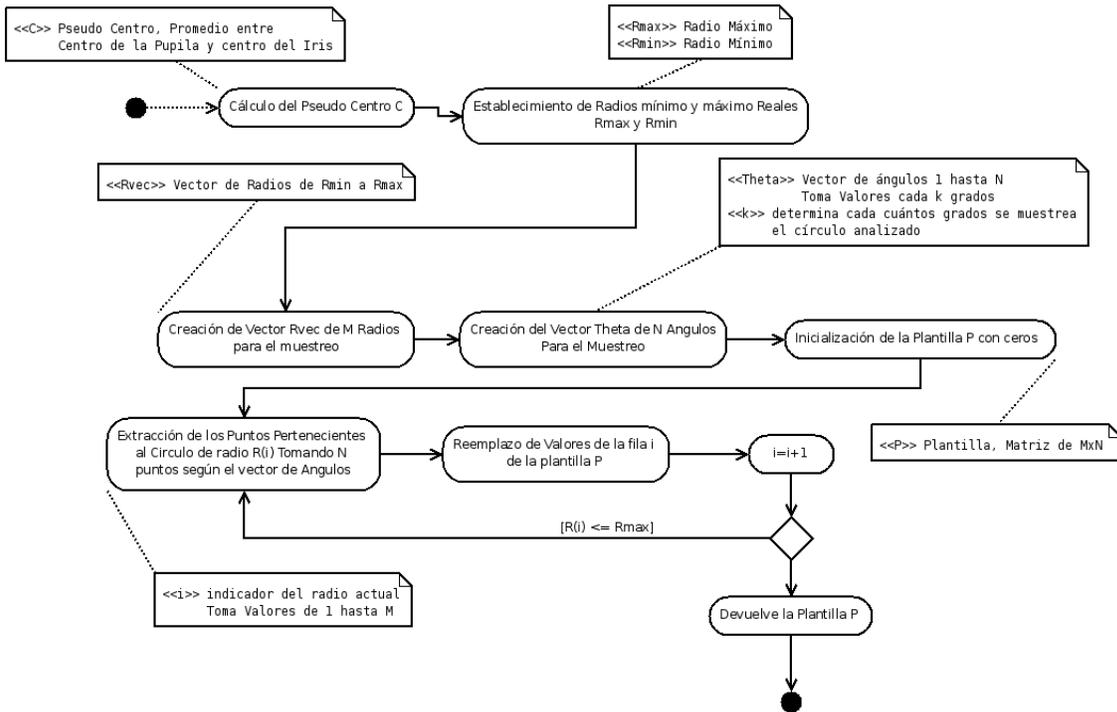


Figura 5.5: Diagrama de actividad para la normalización del iris

### 5.2.4. Detección de Textura en la Plantilla del Iris y Co-dificación

Ahora que la plantilla ha sido generada satisfactoriamente es posible aplicar el filtro descrito en la sección 4.5.1 con el fin de detectar la textura que dicha plantilla posee; procedimiento que se describe en el diagrama de actividad de la figura 5.6.

Con el fin de disminuir aún más la dependencia de la intensidad de luz existente en la imagen se realiza un proceso de ecuilibración. No está de más recalcar que el resultado del filtro es complejo, del cual se calculará la fase para codificar la plantilla asignando dos bits dependiendo del plano en el que se encuentre la fase.

Una vez obtenidos los ángulos definidos en la ecuación 4.15 es posible observar

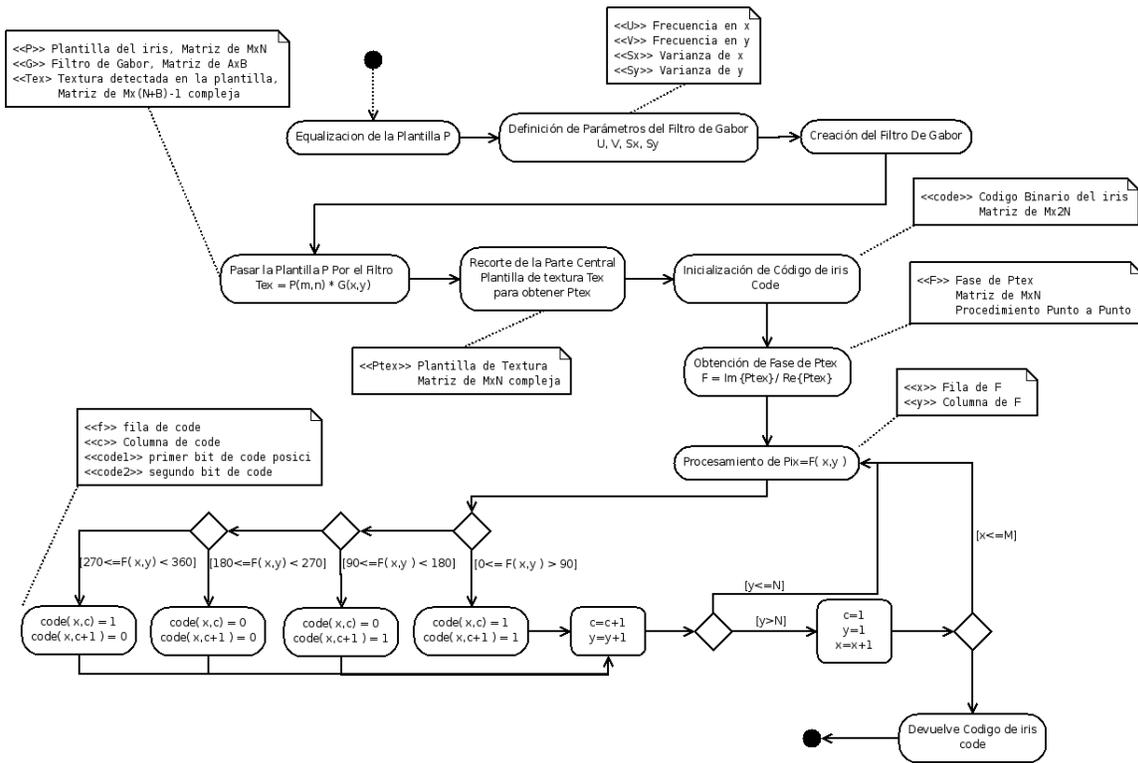


Figura 5.6: Diagrama de actividad para la detección de textura

como se codifica la textura según el criterio de la figura 4.21 en el diagrama de actividad de la figura 5.6

### 5.2.5. Cotejamiento, Identificación y Autenticación

Para poder realizar la identificación de personas se debe realizar un cotejamiento como se explica en la sección 4.6 donde es necesario obtener el promedio de varias plantillas de textura de un mismo iris; para esto se sacaron 21 imágenes del mismo ojo de una misma persona, se obtuvo las plantillas de textura que se observan en la figura 4.20 y se calculó el promedio de las mismas y de este promedio se generó el código por medio del cual la persona será identificada o autenticada. Cabe destacar que las plantillas de textura deben ser promediadas repetidas veces reemplazando por nuevas imágenes aquellas que su distancia de

Hamming con relación al promedio sea mayor igual a 0,25, este proceso se lo realiza hasta conseguir que las 21 imágenes posean una distancia de Hamming inferior a 0,25. La razón de utilizar una distancia de Hamming del mencionado valor se lo justifica mas adelante.

Este proceso se lo repitió para un conjunto de 10 personas, las cuales podrán ser identificadas por el prototipo descrito.

Una vez obtenido el código de promedio es posible ingresar imágenes nuevas al sistema para que sean reconocidas respectivamente, esto se lo hace obteniendo el número de bits que discrepan entre el código del promedio y el código de la nueva imagen y dividiendo este resultado para el número de bits totales del código, lo cual es conocido como la distancia de Hamming detallada en la ecuación 4.16 esto es posible ya que aunque no exista la detección de los párpados, al realizar la normalización del iris el sistema se cerciora de que no existan párpados en la plantilla muestreando solamente una sección del iris en la cual es mas probable que no existan obstrucción de los párpados.

El criterio que se utiliza para aceptar o rechazar a un individuo en un determinado experimento es que la distancia de Hamming calculada sea menor o igual a 0,25 esto se debe a lo que John Dugman describe en su artículo [7] donde menciona que “Thus the observation of a match even of such poor quality (25% of the bits disagree) is extraordinarily compelling evidence of identity.” Lo cual respalda el criterio que se está implementando en el sistema. También se observan conceptos similares en otras fuentes como [4] y [6] lo cual indica que es un criterio utilizado para este proceso.

# Capítulo 6

## Dificultades y Resultados Obtenidos.

### 6.1. Dificultades en la Implementación

En el siguiente capítulo se describirán los resultados obtenidos junto con las dificultades que se encontraron a lo largo de la implementación del prototipo descrito en el capítulo 5

La implementación del prototipo de reconocimiento de iris se lo consigue de una forma semi automatizada, pues realizarlo de una forma automatizada es muy factible pero es necesario tener acceso a otro tipo de recursos, como una cámara digital en la cual se pueda controlar la cantidad de luz que el obturador de la misma permite pasar y una combinación de lentes que permitan capturar más claramente el iris, sin embargo esto no es un obstáculo para la implementación de un prototipo con fines demostrativos. La captura de las imágenes puede resultar muy complicada debido a la capacidad de reflexión que posee la cornea del ojo. Si bien resulta muy difícil conseguir una imagen nítida y libre de todo tipo de

reflejo con una cámara común, es posible conseguir una imagen lo suficientemente clara para realizar una identificación exitosa. Se debe obtener un reflejo aproximadamente constante y se muestrea la parte del iris que se conoce eficaz para el reconocimiento, para ello se muestrea el iris dejando un pequeño margen en los radios de ambos círculos, es decir, se obtuvo la información de la parte central del iris mas no de los lugares más cercanos a la pupila y los párpados donde generalmente se produce el reflejo de la lámpara utilizada o la obstrucción de los párpados. Como se puede observar en la figura 6.1.a existe un pequeño destello cerca de la pupila éste no aparece en la plantilla de la figura 6.1.b debido al margen de seguridad implementado, de igual forma que ocurre con los párpados.

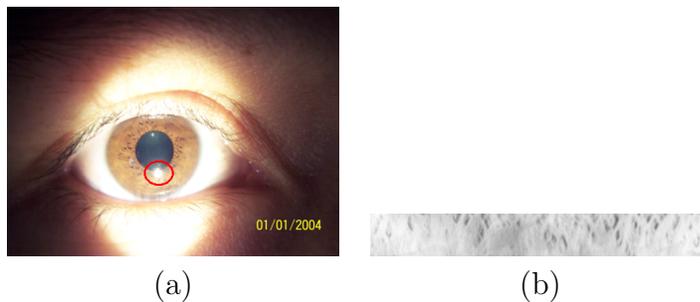


Figura 6.1: (a) Iris con pequeño reflejo en el iris (b) Plantilla libre del reflejo

Procesando de esta forma la imagen se obtuvo un resultado exitoso y además fue posible dejar de lado la detección de las curvas descritas por los párpados que no son las fundamentales para comprobar la existencia de un patrón único en el iris.

Si bien la implementación de los algoritmos matemáticos necesarios para este proceso podrán parecer simples a la hora de realizar una identificación pueden tornarse en un problema pues es necesario realizar un gran número de pruebas para cerciorarse de que el sistema funciona de una forma general y no solo para un determinado grupo de imágenes especialmente en dos de los algoritmos descritos

anteriormente, la detección de Bordes y la detección de texturas, detalladas en las secciones 4.2.1 y 4.5.1 respectivamente. Esto se debe a que al detectar los bordes el umbral aplicado podría resultar ineficiente para una imagen y exitoso para otra debido a las variaciones de luz, lo que podría resultar en una falsa detección de círculos de Hough y claro en una falsa identificación o falso rechazo, esto se lo supera obteniendo imágenes bien definidas o simplemente implementado un umbral adaptativo. En el filtro de Gabor implementado para la detección de texturas, si bien aparenta ser muy simple, puede resultar muy complicado calcular los parámetros del mismo es por esto que para este prototipo los parámetros de dicho filtro fueron sintonizados de una forma experimental buscando obtener un resultado deseado. Éste resultado se basa en las imágenes que arroja el filtro de Gabor en la parte real e imaginaria que se encontraron en diferentes fuentes como [11] <sup>1</sup>.

## 6.2. Resultados Obtenidos en la Comparación de Códigos.

Los resultados en el prototipo se obtuvieron realizando pruebas capturando imágenes ajenas al promedio mencionado en la sección 4.6, y se las compara con el código del promedio, se verifica cuántas de éstas son aceptadas exitosamente, para esto se utilizaron veinte nuevas muestras de cada una de las diez personas de las cuales se generaron los códigos respectivos y se las va comparando una por una con el código generado con el fin de obtener un porcentaje de rechazo, los resultados obtenidos en este experimento se los puede observar en la siguiente tabla.

---

<sup>1</sup><http://cnx.org/content/m12493/latest/>

Individuo	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6	Exp 7	Exp 8	Exp 9	Exp 10	Exp 11	Exp 12	Exp 13	Exp 14	Exp 15	Exp 16	Exp 17	Exp 18	Exp 19	Exp 20
1	0.21	0.17	0.17	0.18	0.18	0.14	0.13	0.13	0.19	0.13	0.16	0.14	0.11	0.23	0.19	0.19	0.15	0.14	0.18	0.13
2	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.12	0.26	0.22	0.15	0.15	0.16	0.16	0.19	0.17	0.19	0.19	0.14	0.20	0.15	0.10
3	0.19	0.17	0.17	0.27	0.16	0.21	0.24	0.22	0.14	0.14	0.15	0.18	0.17	0.16	0.17	0.13	0.14	0.12	0.17	0.15
4	0.11	0.14	0.24	0.18	0.12	0.11	0.10	0.07	0.20	0.11	0.09	0.12	0.12	0.09	0.12	0.16	0.09	0.08	0.14	0.14
5	0.15	0.21	0.20	0.16	0.13	0.15	0.19	0.15	0.22	0.18	0.22	0.26	0.19	0.14	0.15	0.18	0.16	0.13	0.21	0.17
6	0.17	0.19	0.16	0.13	0.18	0.17	0.16	0.13	0.16	0.14	0.19	0.19	0.19	0.17	0.14	0.16	0.14	0.19	0.18	0.35
7	0.27	0.19	0.20	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.14	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.12	0.16	0.15	0.19	0.20	0.19
8	0.15	0.16	0.14	0.16	0.16	0.22	0.14	0.14	0.14	0.14	0.16	0.14	0.15	0.17	0.15	0.17	0.14	0.16	0.18	0.14
9	0.18	0.23	0.14	0.20	0.19	0.20	0.18	0.14	0.17	0.16	0.13	0.21	0.17	0.17	0.16	0.23	0.17	0.17	0.19	0.22
10	0.23	0.21	0.20	0.23	0.20	0.16	0.12	0.14	0.24	0.12	0.12	0.12	0.11	0.13	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.14

Como se puede observar en la tabla anterior, el número de imágenes que poseen una distancia de Hamming mayor o igual a 0,25 representan el 3,75% del total de los experimentos realizados, de esta forma se puede concluir que el porcentaje de falso rechazo del prototipo implementado es del 3,75%. Con respecto al porcentaje de falsa aceptación no se observó ningún caso en el cual el sistema identifique o autentifique a una persona erróneamente, esto se debe a que como se menciona en el artículo *How Iris Recognition Works* de John Daugman, la probabilidad de que exista una falsa aceptación en una base de datos de 9,1 millones de iris es de 1 en 16 millones y utilizando  $HD = 0,333$  como margen de aceptación, por lo cual no resulta extraño observar un 0% de falsa aceptación en una base de datos de 10 iris y 200 imágenes con  $HD = 0,25$  como la implementada en este capítulo.

# Capítulo 7

## Conclusiones

Si bien el prototipo implementado posee una tasa de falso rechazo relativamente grande comparada con la de sistemas comerciales, no hay que olvidar que la principal razón de este fenómeno es que fue implementado por medio de una cámara digital común, lo cual introduce un error considerable al momento de adquirir la imagen, sin embargo las metas del proyecto se alcanzaron de forma satisfactoria, pues se buscaba describir y demostrar el funcionamiento de un sistema de identificación de patrones biométricos del iris y alcanzar una tasa de falso rechazo y falsa aceptación inferior al 5%.

En la implementación del prototipo descrito en los capítulos anteriores se decidió probar un nuevo método con el fin evitar detectar los párpados y así acortar el procesamiento y observar el resultado del mismo, para ello se obtuvo una plantilla muestreando únicamente la parte de el iris donde es más probable que no exista obstrucción de los párpados, lo cual se consiguió exitosamente pues la singularidad de la textura del iris se encuentra presente en toda el área del mismo.

Los sistemas de identificación de patrones biométricos se han convertido en la principal herramienta en el mundo de la seguridad de acceso, pues como se ha

explicado estos son capaces de brindar una confiabilidad extremadamente grande. Al momento de implementar un sistema de seguridad de acceso es preciso considerar ciertos parámetros que brindan mayor confiabilidad al sistema; si bien un sistema que posee una alta tasa de falso rechazo puede tornarse molesto hacia el usuario, un sistema de alta tasa de falsa aceptación puede ser de muy alto riesgo; ambas tasas son inversamente proporcionales y por esto es preferible elevar la probabilidad de un falso rechazo para conseguir una mejor tasa de falsa aceptación.

A pesar de existir sistemas comerciales a la venta capaces de realizar una identificación extremadamente certera y con tasas de falso rechazo y falsa aceptación increíblemente confiables el patrón biométrico del iris sigue manteniendo una reputación turística para la mayoría de personas, sin embargo es solo cuestión de tiempo para que este método de identificación biométrica sea el líder en el mundo de la seguridad.

# Bibliografía

- [1] John Francis Canny. Finding edges and lines in images. Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 1983.
- [2] Victor M Castaño. Las huellas dactilares. primera parte. *Ciencia hoy*, 3(2), Septiembre 2003.
- [3] Jiali Cui, Yunhong Wang, Tieniu Tan, Li Ma, and Zhenan Sun. A fast and robust iris localization method based on texture segmentation. *National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences*.
- [4] John Daugman. How iris recognition works. *University of Cambridge, The Computer Laboratory*.
- [5] John Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statical independence. *IEEE Transactions on Patern Analysis ans Machine Intelegence*, 15(11), Noviembre 1993.
- [6] John Daugman. Probing the uniqueness and randomness of iriscodes: Results from 200 billion iris pair comparisons. *Invited Paper*, 94(11), Noviembre 2006.

- [7] Jonh Daugman. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition. *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 1(1), Enero 20003.
- [8] Autor Desconocido. La biometría al alcance de la mano... *Revista Detective*. Fuente:<http://www.nec.cl/bases/i-510-2-1124301099.pdf>.
- [9] Woodward John and Horn Cristopher. Biometrics a look at facial recognition. *Document Briefing: Prepared for the Virginia State Crime Commission*, 2003.
- [10] Jung Me Park, Hui Chuan, and Shu T Huang. A new gray level edge thinning method. *The University of Alabama*.
- [11] Javier Movellan. Tutorial on gabor filters. 1, Octubre 2002.
- [12] Raúl Sanchez. El iris ocular como parámetro para la identificación biométrica. *Ágora SIC Divulgación*, 21, Septiembre 2000.
- [13] Lucas Terissi, Lucas Cipollone, and Patricio Baldino. Sistema de reconocimiento de iris. *Revista Argentina de Trabajos Estudiantiles*, 1(2):1-4, Marzo 2006.
- [14] Claude Villee, Diana Martin, Linda Berg, and Eldra Solomon. *Biología de Ville*. Interamericana McGraw-Hill, tercera edition, 1996.